

**КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА**

**ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР
НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

ISSN 1694-6065

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

**ГИДРОГАЗОДИНАМИКА,
ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИИ**

**Международная научно-практическая конференция
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ
СПЛОШНЫХ СРЕД»,
посвященная памяти члена-корреспондента НАН КР,
д.ф.-м.н., профессора Ильяса Бийбосунова**

ВЫПУСК ШЕСТНАДЦАТЫЙ

БИШКЕК 2012

УДК 531
ББК 22.25
С 56

Утверждено в печати Президиумом Комитета по теоретической и прикладной механике Кыргызстана и Ученым Советом Института геомеханики и освоения недр НАН КР

Рецензенты: доктор физико-матем. Наук А.И. Бийбосунов
доктор технических наук Б.Т. Толобекова

Ответственный редактор: член-корр. НАН КР, К.Ч. Кожоголов

Редакционная коллегия:

Бийбосунов Б.И. - доктор физико-матем. наук, профессор;
Никольская О.В. - доктор технических наук;
Туганбаев У.М. - доктор физико-матем. наук, профессор;
Токтакунов Т. - кандидат физико-матем. наук, доцент;
Осмонов К.Т. - кандидат физико-матем. наук, доцент;
Орозобекова А.К. - кандидат физико-матем. наук, доцент.

С 56 Современные проблемы механики сплошных сред: Вып. 16:
Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии
/Комитет по теорет. и прикл. механике Кыргызстана, Институт
геомеханики и освоения недр НАН КР. - Б.: 2012. - 497 с.

ISSN 1694-6065

В сборник включены материалы, Международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы механики сплошных сред”, посвященной памяти члена-корреспондента НАН КР, д.ф.-м.н., профессора Ильяса Бийбосунова.

Сборник предназначен для научных работников, аспирантов и инженерно-технических специалистов в области механики.

УДК 531
ББК 22.25

© Комитет по теоретической и прикладной механике Кыргызстана и Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Кожогулов К.Ч. Вступительное слово Председателя Комитета по теоретической и прикладной механике Кыргызстана.....	10
Исманбаев А. К 80-летию со дня рождения Бийбосунова Ильяса Бийбосуновича (25.06.1932 – 29.10.2008).....	11
Текенов Ж.Т. Профессор Ильяс Бийбосунович Бийбосунув тууралуу эскер\\ (80 жылдыгына карата).....	14

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

Жайнаков А. Ж., Курбаналиев А. Ы., Тайиров М. М. Моделирование движения столба жидкости в пакете OpenFOAM.....	17
Жайнаков А.Ж., Кабаева Г.Д. К вопросу моделирования физических процессов при обработке материалов электродуговой плазмой.....	23
Ершин Ш.А., Ершина А.К. Состояние и перспективы использования ветроэнергетики в Республике Казахстан.....	38
Туганбаев У.М., Топчубаев А.А., Муканбаев Н.Ж. Основные субстанции, влияющие на урожай сельхозкультуры.....	33
Туганбаев У.М., Топчубаев, Турусбекова Н.О. Аналитическое исследование пространственного уравнения солепереноса в виде плоских волн.....	38
Туганбаев У.М., Жусупбекова С.Т. К задаче определения гидрохимического режима подземных вод.....	44
Туганбаев У.М., Ботолаева Г.К. К вопросу расчета солевого режима почвогрунтов.....	52
Туганбаев У.М., Муканбетова А.Т. К вопросу изучения процесса накопления влаги в грунтах.....	58
Джаманбаев М.Дж., Чыныбаев М. Математическое моделирование процесса загрязнения подземной гидросферы.....	64
Исманбаев А.И., Чечейбаева Э.Б. Трансзвуковое разложение для задачи обтекания трехмерного крыла.....	70
Исманбаев А.И., Искендерова Д.А., Мусатаева Г.Т. Об одной модели вязкой реагирующей смеси газов.....	75
Шерьязданов Г.Б. Ламинарные двухфазные струйные течения вязких сред в электромагнитном поле.....	80
Коноваленко А.А., Шерьязданов Г.Б. Моделирование ламинарной двухфазной струи переменной проводимости в спутном потоке в поперечном магнитном поле.....	86
Курбаналиев А. Ы. Трехмерное моделирование крупномасштабных гидродинамических событий в пакете OpenFOAM:.....	89

Жапбасбаев У.К., Асилбеков Б.К., Бекибаев Т.Т. Трехмерное моделирование гидродинамического метода воздействия на пласт.....	95
Иссахов А.А. Direct numerical simulation (DNS) of turbulent flows by using parallel technology.....	102
Дилдабек Гулнар Задача с неоднородными граничными условиями для уравнений магнитной газовой динамики.....	107
Куттыкожаева Ш.Н. Движение поршня в вязком газе.....	112
Тажикбаева С. Об одной модели вырождающихся уравнений магнитной газовой динамики.....	116
Мурзакматов М.У., Шамырканов М.Б. Алгоритм численного решения задачи оптимального управления уровнем грунтовых вод на гидрогеологическом объекте.....	121
Душенова У.Ж., Турсункулова З.С., Болотбеков А. Поиск корней и значений неизвестных, обеспечивающих наименьшую или наибольшую невязку нелинейных уравнений.....	127
Орозобекова А.К., Акматалиева К.К. Создание системы визуализации сейсмической обстановки на территории Кыргызстана с использованием ГИС-технологий.....	132
Орозобекова А.К., Сыдыкова А.Ж. Применение технологий создания и обработки данных в ГИС-системах для оползней Кыргызстана.....	137
Чечейбаев Б., Эстебесова Н.Т. Дифференциальные приближения высоких порядков разностных схем метода Давыдова.....	145
Алишеров А. Моделирование радиально-фазового движения заряженных частиц.....	151
Елеуов А. А., Елеуова Р.А., Алимбаева Б.К. Численный метод сужения дифференциального оператора.....	155
Тулепбергенов А.К. Анализ некоторых результатов теоретического и экспериментального исследования ветротурбины Дарье.....	157
Сагынбаева М. Скалярные поля в космологических и астрофизических приложениях.....	163
Богданов А.Н., Диесперов В.Н., Жук В.И. Асимптотические модели гидродинамической неустойчивости ламинарно-турбулентного перехода и нелинейных процессов в пограничных слоях, взаимодействующих с до-, транс- и сверхзвуковыми потоками.....	167
Сатымбеков А.М., Тулепбергенов А.К. Теоретический расчет вращения ветротурбины Дарье с применением теории трубки тока.....	174
Сатымбеков А.М., Тулепбергенов А.К., Уалиев Ж.Р. Компьютерное 2d моделирование работы перспективной ветротурбины карусельного типа...	180
Абдылдаев М.Ю., Шамуратов К.Т. Движение жидкости через препятствие.....	185
Урманбетов Р.Дж. Математическое моделирование движения воды и солей в почвогрунтах и его численная реализация.....	189

ГЕОМЕХАНИКА И МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Кожогулов К.Ч., Кожогулов Б.К. Проблемы геомеханического обеспечения экономически эффективного освоения месторождений полезных ископаемых в условиях высокогорья.....	196
Абдылдаев К.К., Кабаева Г.Д., Кожогулов К.Ч. К вопросу генерации расчетной сетки при решении задач геомеханики методом конечных элементов.....	199
Баймахан Р.Б., Султанбекова А.У., Рысбаева А.К., Курманбек кызы Н. Разработка критериев, определяющих тип разрушения и величину раскрытия трещин, распространяющихся вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии анизотропного массива.....	203
Абдрахманов С.А., Доталиева Ж.Ж., Осмонканов А.М. Аналитическое исследование зависимости крутящего момента от угла закручивания при кручении прямого вала с учетом линейного упрочнения материала.....	207
Инкарбеков М.К., Тунгатарова М.С., Калтаев А. Применение CUDA-технологий для решения задач геотехнологии.....	212
Рудаев Я.И., Сулайманова С.М. Об одной задаче прессования кругового прутка в режимах сверхпластичности.....	214
Сулайманова С.М. Об объемной штамповке в режимах сверхпластичности.....	219
Адигамов Н.С., Ашакеев У.Н., Толонбаев Б. О влиянии деформационного старения на процессы приспособляемости при упруго-пластическом изгибе балок.....	224
Рычков Б.А., Лужанская Т.А. Об одном методе конкретизации критерия прочности Кулона-Мора.....	228
Казакбаева Г.О. Взаимодействие остаточных напряжений с полями напряжений от внешних вертикальных и горизонтальных нагрузок.....	233
Никольская О.В., Кадыралиева Г.А. Оценка влияния сезонных колебаний температуры на прочностные свойства грунтов и местную устойчивость откосов горных дорог.....	238
Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Методика и результаты определения волнового модуля напряжения твердых материалов.....	245
Торгоев И.А. Механизм сейсмогенных оползней разжижения.....	251
Чукин Б.А., Ким Э.А., Алешин Ю.Г. Вероятностная оценка устойчивости оползневого склона «тектоник».....	257
Джаманкулов А.К. Влияние плотности сновальной паковки на натяжение нитей в процессе размотки в зоне мягкой пряжи шлихтовальной машины.....	264
Абдылдаев К.К. Обоснование запаса устойчивости откосов бортов карьеров.....	266

Манжиков Б.Ц. Энергетические характеристики индуцированной сейсмичности шахтных полей субра.....	270
Асанова А.А. Технология очистки внутренних поверхностей трубопроводов, бункеров, емкостей виброударными машинами.....	276
Ерестьянц В.Э., Муктарбекова Г.М. Модель оснащенного стержня с конечным числом степеней свободы.....	280
Ерестьянц В.Э., Дроздова И.С. Модель оснащенного стержня с распределенными параметрами.....	285
Субботина Е.А. О продольной прокатке полосы с использованием сверхпластичности.....	290
Ботоканова Б.А., Жумабаев Б. Распределение напряжений вокруг тоннеля с овальным поперечным сечением.....	298
Жомартов Б.А. Перспективы развития автосамосвального парка на рудниках Жезказганского месторождения.....	305
Кутуев М.Д., Суюнтбекова И.А., Шубович А.Г. Разработка интеллектуальных систем проектирования гидротехнических сооружений.....	307
Кутуев М.Д., Матозимов Б.С. Манапбаев И.К., Куканова Р.А. Расчет тепла от солнечной радиации при проектировании зданий в регионах КР.	310
Кутуев М.Д., Матозимов Б.С., Куканова Р.А., Манапбаев И.К. Расчет воздухопроницаемости конструкций зданий.....	318
Абдарсолкызы С., Баймахан Р.Б., Баймахан А.Р., Молдакунова Н.К. Разработка блочно-ярусной расчетной модели литосферного блока Северного Тянь-Шаня.....	324
Баймахан Р.Б., Султанбекова А.У., Рысбаева А.К. Определение начала образования пластических зон в неоднородно-транстропном весоном массиве вокруг горной выработки.....	327
Сейнасинова А.А., Баймахан Р.Б., Султанбекова А.У., Куренбаева Б.Т. Трещинообразования вблизи контура выработки, распространяющиеся вдоль и вкrest слоев плоскости изотропии.....	332
Султанбекова А.У., Баймахан Р.Б., Муздакбаев М.М., Сейнасинова А.А. Определение процесса раздробления массива вблизи контура подземного сооружения в транстропном массиве.....	336
Кутуев М.Д., Матозимов Б.С., Муктаров Т.К., Мамбетов Э.М., Муканбет кызы Э., Мисирова А.М. Архитектурно-планировочные приемы в объемном и градостроительном проектировании, конструктивные и инженерно-технические требования к зданиям с учетом климата местности.....	341

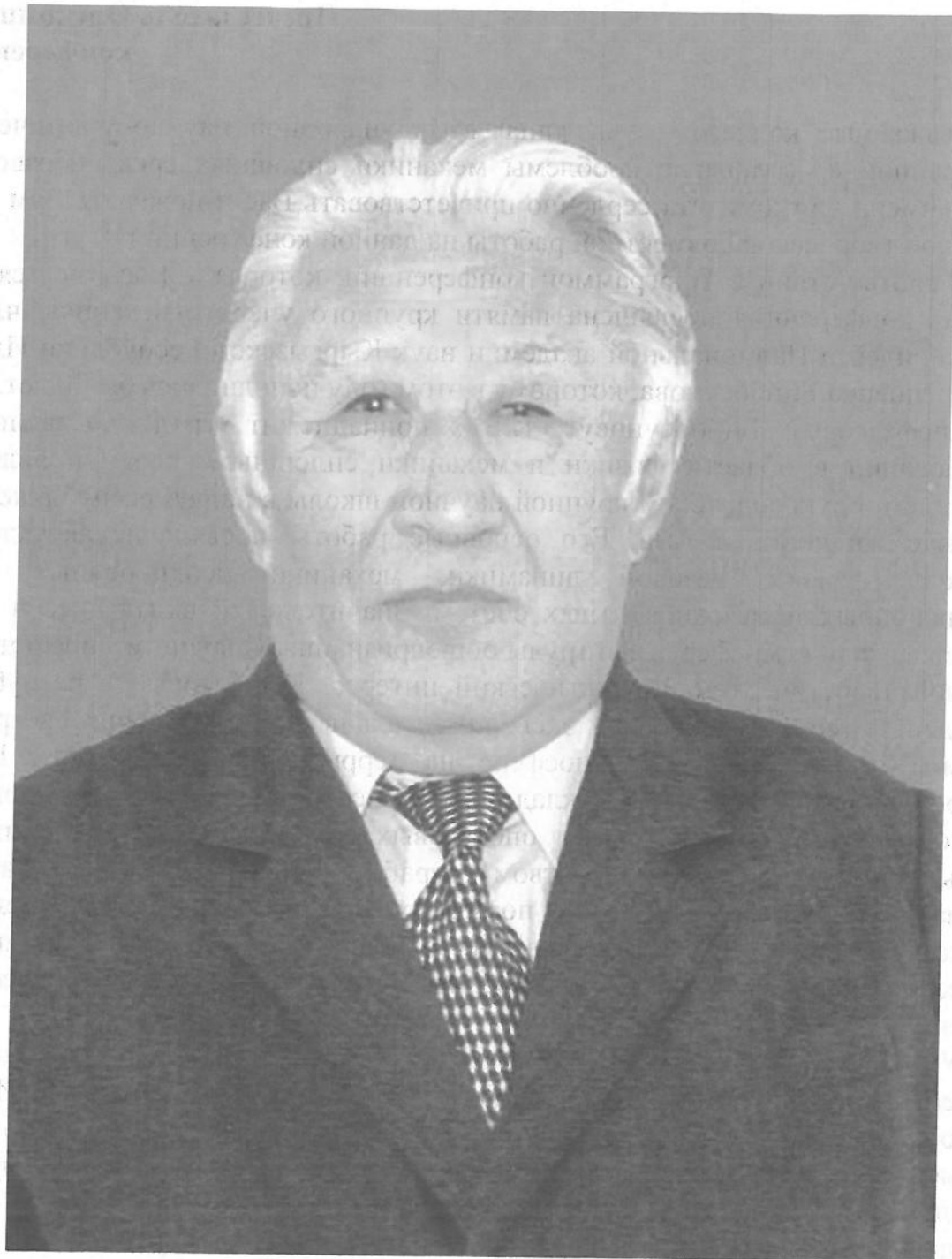
Кутуев М.Д., Матозимов Б.С., Муктаров Т.К., Мамбетов Э.М., Муқанбет кызы Э., Мисирова А.М. Оценка ветрового режима местности и сторон горизонта по комплексу климатических факторов...	347
Баймахан А.Р., Кожамкулова Ж.Ж., Баймахан Р.Б. Разработка расчетной схемы состояний литосферного блока Северного Тянь-Шаня в разрезе Капшагай-Иссык-Куль.....	352
Кожамкулова Ж.Ж., Баймахан Р.Б., Иваницкая Н.В., Баймахан Р.Б. Анализ разрушений контуров подземных сооружений при землетрясениях.....	356
Кожебаева А.С., Баймахан Р.Б., Кулмаганбетова Ж.К. Разработка расчетной схемы задачи неоднородно анизотропного массива, содержащего горную выработку.....	363
Баймахан Р.Б., Кожебаева А.С., Наозо Фукуда. Разработка конечноэлементной расчетной схемы определения НДС контура тоннеля в неоднородно трансформном массиве с учетом геостатических и тектонических сил.....	368
Салгараева Г.И. Определение НДС контура закрепленной выработки, находящейся в неоднородно анизотропном массиве, от геотектонической нагрузки.....	374
Рустемов С.Т. Исследование рациональной области применения различных врубов при проходке выработок переносным оборудованием...	378
Баймахан Р.Б., Султанбекова А.У., Абдарсолкызы С., Алиева А.М. Анализ разрушения трансформного массива вокруг выработки вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии.....	383
Мамаев Ш. Расчет волновых процессов в призматических телах, ограниченных криволинейными поверхностями методом бихарактеристик.....	389
Жумабаев Б., Качкын кызы Ж. Построение прямого и обратного отображения односвязных областей.....	396

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКАХ И ОБРАЗОВАНИИ

Койчуманов М.К. Пути и средства активизации учебно-познавательной деятельности магистрантов – будущих учителей физики.....	402
Талыпов К.К. Программный комплекс цифровой обработки аэрокосмоснимков.....	407
Бийбосунов А.Б., Бийбосунова Г.И., Садыкова Н.А. Разработка web – сайтов с использованием cms “joomla!”.....	412
Бийбосунов А.И., Исманова Ж., Садыкова Н.А. К вопросу повышения качества естественно-технического образования.....	415
Табышов Р., Садыкова Н.А. Использование новых информационных технологий в обучении иностранным языкам.....	418
Хакимова Т. Информационные технологии в управлении государством...	423

Бекболотов Д., Бекболотова С.Д., Эсенгулов У.А. Mathcad системыны программалык операторлорун пайдаланып программа түзүү.....	429
Телгожаева Ф.С., Сагимбаева Л.А. Параллельность обработки и реализуемость нейронных сетей.....	433
Конушбаева Р.К. Кесиптик-техникалык лицейлерде физика сабагын окутууда, маалыматтык технологияларды колдонуу.....	435
Токтогулова Г.А., Эсеналиева Г.А. Цикл PDCA в деятельности вуза.....	441
Син Е.Е., Орунбаев Т.А., Тайиров М.М. Информационное обеспечение качества учебного процесса в вузе.....	445
Асаналиева Г.Б., Исаева А.К. Электронный учебник как средство дистанционного обучения.....	451
Асаналиева Г.Б., Исаева А.К. Решение алгебраических уравнений с использованием компьютерных технологий.....	458
Кошуев А.Ж., Тайиров М.М. Пути совершенствования методики преподавания физики в общеобразовательной школе.....	463
Нортожиев А.С. Сингармонизм жана синонимайзер программасындагы сөздөрдүн жөнделүшү.....	469
Карабаева С.Ж., Рыспаева С.С. Способы перевода экономических терминов с русского языка на кыргызский.....	476
Качиева Ш.С., Шахнабиева Н.Ю. Интернет-дискурс как особый вид дискурса.....	481
Мамытбекова Ж.С. Түшүндүрмө сөздүктөрдү автоматтуу котормо программаларын жана редакциялоо системаларын түзүү.....	486
Eleouva R.A., Zakariyanova N.B., Bekbaeva M.K. Application of the eigenvalues and eigenvectors of matrices with statistical data processing....	490

Ильяс Бийбосун



Ильяс Бийбосунов
член-корреспондент Национальной академии наук Кыргызской
Республики, заслуженный деятель науки Кыргызской Республики,
доктор физико-математических наук, профессор
(25.06.1932 – 30.10.2008)

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Кожогулов К.Ч.
Председатель Оргкомитета
конференции

Уважаемые коллеги — участники Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы механики сплошных сред». Позвольте мне от имени Оргкомитета сердечно приветствовать Вас и пожелать Вам всем успешной творческой совместной работы на данной конференции.

В соответствии с Программой конференции, которая у Вас имеется, эта научная конференция посвящена памяти крупного ученого-механика, члена-корреспондента Национальной академии наук Кыргызской Республики Ильяса Бийбосуновича Бийбосунова, которому в этом году исполнилось бы 80 лет.

Профессору Бийбосунову И.Б. принадлежит ряд выдающихся исследований в области физики и механики сплошных сред. Он является создателем и руководителем крупной научной школы в нашей республике — по механике жидкости и газа. Его основные работы посвящены актуальным вопросам физики, газовой динамики, механики неоднородных сред, дисперсионных и газожидкостных систем. Значительный вклад внесен им в область физики атмосферы, его труды общепризнанны в научном мире и имеют большой теоретический и практический интерес. Им впервые в республике проведены теоретические и экспериментальные исследования ветровых режимов в тропосфере и ионосфере на территории Кыргызстана. Ильяс Бийбосунович внес огромный вклад в развитие математических методов при прогнозе и предупреждении оползневых процессов на территории Кыргызстана. Под его руководством разработаны физические и механико-математические модели, которые позволяют исследовать динамику селевых потоков, механизмы оползания горных склонов, оценить их устойчивость, провести количественный и качественный анализ физических процессов в оползнеопасных регионах республики.

Уважаемые коллеги! Большинство присутствующих на данной конференции хорошо знали и знакомы с научной деятельностью Ильяса Бийбосуновича. Однако в зале присутствуют наши гости, а также молодые ученые, которых хотелось бы ознакомить с биографией и научной деятельностью крупного ученого Бийбосунова Ильяса Бийбосуновича, а его знавшим - еще раз напомнить о яркой личности Ильяса Бийбосуновича.

Поэтому позвольте мне еще раз от имени Оргкомитета настоящей конференции и от себя лично пожелать участникам конференции плодотворной работы и передать следующее слово одному из учеников Ильяса Бийбосуновича д.ф.-м.н., профессору Исманбаеву А., который расскажет о биографии и научных достижениях члена-корреспондента НАН КР, профессора Бийбосунова Ильяса Бийбосуновича.

**К 80-летию со дня рождения
БИЙБОСУНОВА ИЛЬЯСА БИЙБОСУНОВИЧА
(25.06.1932 – 30.10.2008)**

Ильяс Бийбосунович Бийбосунов родился в 1932 году в с. Курменты Иссык-Кульской области. В 1956 году окончил отделение физики физико-математического факультета Кыргызского государственного университета и был оставлен в аспирантуре. С 1959 года, после успешной защиты кандидатской диссертации, он работал старшим преподавателем кафедры теоретической физики Кыргызского государственного университета. В 1961 году И.Б. Бийбосунов был приглашен на работу в Институт физики и математики АН Киргизской ССР, где работал вначале старшим научным сотрудником сектора теоретической физики, а с 1963 года – заведующим лабораторией динамики воздушных потоков. В 1975 году он со своим отделом был переведен в Институт автоматики АН Киргизской ССР и проработал там до конца 1994 года, а с января 1995 года до конца своей жизни работал в Институте физики и механики горных пород заведующим лабораторией гидроаэродинамики. В 1970 году И.Б. Бийбосунов был удостоен ВАКом СССР ученого звания доцента по кафедре теоретической механики. В 1971 году 8 октября защищает докторскую диссертацию по теме: «Теория плоскопараллельных околзвуковых течений со скачками уплотнения» в г. Новосибирске в Академгородке, а в 1973 году И.Б. Бийбосунову присваивается ученое звание профессора по специальности «Механика жидкости, газа и плазмы». В 1985 году его избирают членом Комитета СССР по теоретической и прикладной механике, а в 1992 году он становится членом Национального Комитета механиков Российской Федерации.

В 1989 году И.Б. Бийбосунов был избран членом-корреспондентом Академии наук Кыргызстана.

За большой вклад в развитие науки республики, в подготовку научных и педагогических кадров в 1993 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Кыргызской Республики». С 1968 по 1992 гг. он возглавлял Кыргызское отделение Всесоюзного астрономо-геодезического общества. С 2000 года он основал и до последних дней жизни возглавлял Комитет по теоретической и прикладной механике Кыргызстана. С 1976 по 1998 годы являлся председателем специализированных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций в Кыргызстане, а с 1993 по 1997 гг. – членом специализированного совета по защите диссертаций при Казахском государственном университете им. Аль-Фараби в области механики, газа и плазмы. С 1994 года до конца своей жизни он занимал пост заместителя председателя Национального научно-координационного совета по подготовке и реализации долгосрочной Комплексной государственной программы по защите территории Кыргызстана от природных и природно-техногенных катастроф.

И.Б. Бийбосунов являлся крупным ученым в области механики, математической и теоретической физики. Ему принадлежит ряд выдающихся исследований в области физики и механики. Основные работы И.Б. Бийбосунова посвящены актуальным вопросам физики атмосферы, газовой динамики, механики неоднородных сред, дисперсионных и газожидкостных систем. Профессор И.Б. Бийбосунов – автор более 170 научных работ, четырех монографий, большинство из которых было опубликовано в центральных научных изданиях Советского Союза.

Значителен его вклад в области физики атмосферы. В частности, под его научным руководством в 1963-1966 годы были созданы уникальные радиолокационные установки. Руководимая им лаборатория выполняла исследования циркуляции верхних слоев атмосферы по Программе Международного Года Спокойного Солнца (МГСС), имеющие большое значение при решении ряда задач геофизики и космического пространства. Другое очень важное направление его научных работ – газовая динамика. Им были получены новые научные результаты в наиболее трудном разделе современной газовой динамики, а именно – в теории трансзвуковых течений газа. Разработаны аналитические и численно-аналитические методы решения целого ряда задач газодинамики, гидроаэродинамики, связанные с идеальными и реальными процессами в атмосфере и в искусственных соплах.

Большое признание среди ученых получили его работы по механике в ненасыщенных средах, имеющие непосредственное практическое значение в мелиорации республики. В их числе разработка математической модели импульсного полива по бороздам, решены отдельные задачи теории тепло- и массопереноса с применением современных численно-аналитических методов.

В последние годы он руководил научно-исследовательской программой «Исследования условий формирования и прогноз образования оползней и селевых потоков на территории Кыргызстана». Под его руководством были разработаны физические и механико-математические модели, которые позволяют исследовать динамику селевых потоков и механизм оползания горных склонов, оценить их устойчивость против оползания, провести количественный и качественный анализ физических процессов в оползнеопасных регионах республики.

Под его руководством был организован и проведен ряд международных конференций по различным проблемам механики сплошных сред. Ильяс Бийбосунов был участником Подготовительного комитета Всемирного Саммита по устойчивому развитию под эгидой ООН в Нью-Йорке (2002 г.).

И.Б. Бийбосунов был создателем и руководителем научной школы по гидроаэродинамике Кыргызстана, под его руководством были подготовлены и успешно защищены 18 кандидатских и 4 докторских диссертации.

Благодаря высокому научному авторитету профессора И. Бийбосунова были установлены творческие союзы с учеными России, Казахстана, Узбекистана и других стран ближнего зарубежья. Результатом творческих связей являлись сотрудничества в области научных исследований, проводимых

в Институте механики МГУ, который возглавлял (в 1960-1992 гг.) и является научным консультантом по сей день выдающийся российский ученый, академик РАН Г.Г.Черный; совместные научные исследования с кафедрой газовой и волновой динамики МГУ, возглавляемой (в период с 1952 по 1987 гг.) выдающимся ученым, Героем Социалистического Труда, академиком Х.А.Рахматуллиным; академиком РАН Р.И. Нигматулиным; профессором А.И. Бунимовичем и другими. Были установлены творческие связи и совместные работы с Институтом проблем механики АН СССР и работавшими там учеными: Героем Социалистического Труда, академиком РАН П.Я.Кочиной, профессорами О.В. Голубевой, М.И.Хмельником и др. Тесные связи и сотрудничество были установлены также со школой механиков СО АН СССР и с видными учеными, академиками РАН М.М.Лаврентьевым, Л.В.Овсянниковым, Н.Н.Яненко и др. Были расширены совместные научные исследования со школой механиков Республики Казахстан, возглавляемой выдающимся ученым, академиком НАН РК, профессором Ш.А.Ершиным; академиком Инженерной академии РК, д.ф.-м.н., профессором Ш.С.Смагуловым и др. Совместные научные работы проводились и с известными учеными Узбекистана: академиками АН РУз Ф.Б.Абуталиевым, Т.Р.Рашидовым; членом-корреспондентом АН РУз Д.Ф.Файзуллаевым, профессором А.И.Умаровым и др.

Профессор И.Б. Бийбосунов вел большую научно-педагогическую работу в вузах Кыргызстана, многие годы активно участвовал в подготовке сотен квалифицированных специалистов для республики и за ее пределами.

За плодотворную научную деятельность и активное участие в общественной жизни И.Б. Бийбосунов был награжден медалью «Данк», юбилейной медалью в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина «За доблестный труд», медалью «Ветеран труда».

В 2009 году Правительством и Жогорку Кенеш Кыргызской Республики было принято решение о присвоении Каракольскому педагогическому колледжу имя профессора Ильяса Бийбосунова.

А.Исманбаев,
д.ф.-м.н., профессор

Профессор Ильяс Бийбосунович Бийбосунов
тууралуу эскерүү (80 жылдыгына карата)

1951-жылы Жалал-Абад облусунун, ошол убактагы Октябрь районуна караштуу Көк-Арт орто мектебин бүтүрүп, Бишкекке (ал убакта Фрунзе шаары эле) барып, ошол жылы жаңы уюшулган Кыргыз мамлекеттик университетинин физика-математика факультетине окууга өтүп, физика кесиби боюнча окуп калдым. Көп өтпөй эле, сентябрь айы болсо керек, Ош облусунун Кара-Суу районуна пахта тергени айыл чарба жумушуна келдик. Кайра Фрунзеге ноябрь айында келген болушубуз керек.

Муну менен айтайын дегеним, группалаштарыбыз жана курсташтарыбыз менен көп тааныша электе эле, пахта тергени кеттик. Пахтадан келгенден кийин сабак башталды. Бул жерден өзгөчө белгилеп кете турган нерсе, менин группалаштарым негизинен тажрыйбалуу, турмуштук тажрыйбасы бар студенттер экен. Алар негизинен Пржевальский (азыркы Каракол) шаарындагы мугалимдик институтун бүтүрүп, мектепте 1-2 жыл иштегендер экен. Алар А.А.Арынов, И.Б.Бийбосунов, Ж.Ж.Жеенбаев, И.Ш.Шамырканов, Т.М.Мамбетахунов, А.А.Айтахунов жана башкалар экен.

Анан дагы Советтик Армияда кызмат өтөп, анан демобилизация болуп, университетке студент болуп кирген орус элинин өкүлдөрү да бар экен. Алардын саны да беш-алтоо болуп, алар Козлов П., Лелеко, Вдовин П. жана башкалар эле. Ошентип, орто мектепти жаңы эле аяктап келгендер беш-алтообуз эле экенбиз.

Ошентип, окуу боюнча да, турмуш боюнча да тажрыйбасы бар инсандар менен группалаш жана курсташ болуп окуй баштадык. Кийин байкасам эч бир кесипке физика кесибине киргендерден тажрыйбалуулар университетке кирген эмес экен. Орто мектепти жаңы эле бүтүп келип, тажрыйбалуулар менен группалаш болуп окуу келечекте кандай таасирин тийгизди? - деген суроо туулат.

Ушул мааниде тажрыйбалуу группалаштардын ичинен Ильяс Бийбосунович Бийбосунов тууралуу бир аз баяндама берейин.

Ошентип, биринчи курстун биринчи жарымында химия сабагынан экзаменди кайра тапшырууга туура келди. Ошондо Ильяс Бийбосунов жардам берди. Ошондон баштап экөөбүз жакшы мамиледе боло баштадык. Жаңы жылды жана башка майрамдарды тосууда, сабакка чогулуп даярданууда жана башка ар түрдүү иш-чараларда чогуу болуп, жакындан жолдош, дос боло баштадык.

Мен биринчи курстун жайкы сессиясынын экзамендерин жалаң төрткө тапшырып, стипендия ала турган болуп калдым. (Ал убакта бир эле экзаменди үчкө тапшырсаң стипендия берчү эмес). Жайкы каникулга тарадык. Менин стипендиант болушум жалаң эле өзүмө эмес, менин группалаштарыма да чоң көмөк болуп, жакшы окуган, жогоруда айтылгандай мугалимдик институтту бүтүрүп келгендердин тобуна кошулууга толук мүмкүнчүлүк берди. Алар менен экинчи курстан баштап кадимкидей «тең ата» болуп (дос, жолдош болуп)

аралаша баштадым. Ошонун ичинде И.Бийбосунов, А.Шалпыков, И.Шамырканов жана Ж.Жеенбаевдер бар эле.

Ошентип, экинчи курстан баштап эле мен Ильяс Бийбосунович менен жакындан жолдош болуп, дос болуп студенттик турмушта кезигүүчү ар кандай иштерде бирге болуп, бирге өткөрчү боло баштадык. Мисалы, майрамдык (1-май, 8-март, жаңы жылды тосуу, кино көрүүгө баруу, чогулуп сабак жасоо) кечелерде ушул студенттик кездеги мамиле жүрүп отуруп жакын достукка, жолдоштукка айланды.

Ошентип, экинчи курстан баштап эле, менин тажрыйбалуу группалаштарыбыздай жакшы окуп бүтсөм, аспирантурада окуймун, же, университетке мугалим болуп каламын жана башка жакшы ой-максаттар менен алек боло баштаганым толук эле байкала баштады. Ал эми 10-классты жаңы эле бүтүп келип окуй баштагандардын ою – университетти бүтсөм, өзүмдүн окуган мектебиме барып мугалим боломун деген тилек эле. Мисалы, менде эң оболу ушундай максат болгон. Бирок, курстан курска өткөн сайын ойлор, максаттар өзгөрүлүп жүрүп отурду. Буга тажрыйбалуу студенттер менен группалаш болуу чоң роль ойноду го демекчимин.

Эми Ильяс Бийбосунович тууралуу көп сөз айтса болот, бирок, мен бир-эки моментке эле токтоло кетейин.

Биринчиден, Ильяс Бийбосунович өзү физика бөлүмүндө окуганы менен математика сабактарынан группалаштарына караганда күчтүүрөөк болуп көрүнүүчү эле. Ушул өзгөчөлүгү Иликемдин ошол убакта Москвадан Кыргыз Мамлекеттик университетине кызматка жиберилген дүнүйөгө аты чыккан жана белгилүү илимпоз профессор Франкль Феликс Исидорович менен жакындашып курстук иштерди ошол профессордун жетекчилиги менен аткарганы эсимде. Ошондо эле Ильяс Бийбосунович профессорунун купулуна толду го демекчимин. Анын уландысы болуп, Феликс Исидоровичтин жетекчилиги астында дипломдук иш жазды. Университетти аяктаары менен Иликем профессор Ф.И.Франклдын биринчиден болуп аспиранты болду. Профессор Ф.И.Франклдын Иликемди өзүнө жакындаштырганынын дагы бир себеби, аэрогидродинамика илими математиканы жакшы билүүнү талап кылат экен. Ошондуктан, Ильяс Бийбосуновичтин физика сабактарына караганда математика сабактарын жакшы өздөштүрүшү профессор менен жакындашууга кошумча көмөктөш болду го деп ойлойм.

Феликс Исидорович Советтер Союзунда аэрогидродинамика илими боюнча биринчи катардагы окумуштуу экен. Аны биз кийинчерээк түшүнүп жүрбөйбүзбү. Ошентип, Иликем дүнүйөгө аты чыккан өтө белгилүү профессордон окуп, өзү дагы жалаң эле Кыргызстандагы эмес, Союзга аты чыккан белгилүү окумуштуу болуп калган эле. Союздук академиктер: Седов Л.И., Черный Г.Г., Рахматуллин Х.А. жана башка атактуу окумуштуулар менен теңтайлашып, кесиптеш болуп иштеген окумуштуу болгон. Илимий иштеринин сапаты дүйнөлүк жана Союздук талаптын деңгээлинде жооп берген иштер болоор эле. Илимий иштери жогору бааланып, Кыргыз Республикасынын Илимдер академиясына корреспонденттикке мүчө болуп шайланды (1989-жыл).

Академик наамына татыктуу эле, бирок, ар кандай себептердин негизинде академиктикке шайланбай калды («Ак үй орун бөлбөй койгон»).

Экинчиден, Ильяс Бийбосунович кээ бир убакта одонороок көрүнгөнү менен абдан боорукер, ак көңүл, адамгерчиликтүү, тамашакөй, жолдошчулукка абдан туруктуу мамиле жасаган инсан эле.

Өзү өнүп-өскөн үй-бүлөдөн болгон. Өзү дагы көп балалуу болуп, балдары, кыздары өзүндөй болуп жогорку билимдүү болушуп, илимдин докторлору жана кандидаттары болушту.

Бул жерде өзгөчө белгилеп кетейин дегеним, Иликемдин өмүрлүк жары Мунара аяшым тууралуу бир-эки ооз сөз. Адамзаттын турмушундагы жетишкендиктери, ийгиликтери көпчүлүк учурда өмүрлүк жары менен байланышкан болсо керек ко дейм. Ушул мааниде Мунара аяшымдын Иликемдин жетишкен ийгиликтерине салымы өтө чоң десем жаңылышпасам керек. Мунара өтө акылдуу, эстүү, кичи пейил, маданияттуу, интеллектуалы өтө жогору болгон ургаачылардан деп эсептейм. Бир сөз менен айтканда, Иликемдин «тылы» абдан бышык болгон.

Ильяс Бийбосуновичтин дагы бир жакшы касиети карьерист эмес эле. Өмүр бою лабораториянын жетекчиси гана болуп бир жерде, бир кабинетте отуруп иштеди. Директор болоюн, ректор, проректор болоюн деген ойлору жок эле. Ушунча жылдары бирге жүрүп, мындай ойлорун эч байкабаган элем. Бирок, Иликемде мындай мүмкүнчүлүктөр болгон эле. Негизинен илимий иштер менен алектенип, көп сандагы илимий иштери менен байланышкан китептерин, монографияларын, көп сандаган илимий макалаларын калтырып кетти. Көп сандагы окуучуларын, илимдин кандидаттарын жана докторлорун тарбиялады. Эли-жерине көптөгөн кызматтарды жасады жана эли-жеринин татыктуу уулдарынан болгон десем эч жаңылышпайм.

Аягында айтаарым, Ильяс Бийбосунович кыргыз элинен чыккан чоң окумуштуулардын бири болуп эсептелип, анын илимий эмгектерин дүйнөдөгү окумуштуулар жогору баалашат. Өзүнчө мектеби бар окумуштуулардын катарына кирет. Анан дагы кошумча: жогоруда айтылган тажрыйбалуу жана тажрыйбасы жоктордун баары турмуштан өз орундарын табышып, он чактысы илимдин доктору жана илимдин кандидаты болушту. Мисалы, Ж.Ж.Жеенбаев өз убагында Улуттук Илимдер академиясынын президенти болуп иштеди; мектепти жаңы бүтүп келгендердин ичинен К.Усенбаев – илимдин доктору болду; А.Шалпыков, И.Ордоков, П.Козлов, А.А.Арынов, Ы.Ш.Шамырканов, Т.М.Мамбетахунов жана башкалар илимдин кандидаты болушту.

Ильяс Бийбосуновичтин жаркын элеси окумуштуу катары, адам катары, дос катары түбөлүккө кала берет.

КРнын УИАнын
академиги Ж.Текенов

2012-жылдын 27-майы

УДК 532.517.4

А.Ж.Жайнаков, А.Ы.Курбаналиев, М.М.Тайиров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СТОЛБА ЖИДКОСТИ В ПАКЕТЕ OpenFOAM

В данной работе представлены результаты численного моделирования движения столба жидкости со свободной границей. Трехмерное нестационарное моделирование основано на решении усредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса совместно с методом объема жидкости для отслеживания межфазной границы. Проверка адекватности математической модели производилась путем сравнения с соответствующими данными других авторов.

Введение

Гидродинамика течения со свободной границей, влияние потока жидкости на различные строения являются важной инженерной задачей при построении береговых защитных сооружений против селевых потоков, оползней и снежных лавин. Имеющаяся теория типа потенциальной, использующая метод граничных элементов, не применима для решения подобного класса задач. Такое положение, в дополнение к сложности геометрии межфазной границы, связано с разрывностью потока жидкой фазы и эффектом проникновения воздуха в жидкий поток.

В данной работе для решения уравнений Навье-Стокса, описывающих гидродинамику рассматриваемого класса течений, применен открытый пакет OpenFOAM 1.7.1 [1], использующий метод конечных объемов [2] и имеющий определенное количество имплементированных многофазных решателей. Целью этой работы была оценка возможностей данного пакета для моделирования многофазного течения с проблемой отслеживания межфазной границы. Использованный здесь многофазный решатель interFoam основан на методе объема жидкости (Volume of Fluid-VOF). Для получения наиболее реалистических результатов проведены расчеты на разных расчетных сетках. Данные методических численных расчетов сравнивались с данными работ [3-5].

Постановка задачи

Геометрия рассматриваемой модельной задачи представлена на рис. 1. Модель представляет собой резервуар гексаэдрной формы, размерами: длиной 3,22 м, высотой 2 м и шириной 1 м. В левом нижнем углу расположен столб воды высотой $H=0,6$ м, длиной 1,2 м и шириной 1 м. Для измерения силы давления потока жидкости на правую стенку резервуара соответствующий

измерительный датчик давления был расположен в точке Р с координатами $x = 3,22$ м и $y = 0,160$ м. Кроме того, в двух сечениях при $x_1 = 2,725$ м и $x_2 = 2,228$ м были измерены уровни свободной поверхности воды h_1 и h_2 . Плотность воды была равна $998,2 \text{ кг/м}^3$, а воздуха – $1,225 \text{ кг/м}^3$. Несмотря на то, что эксперимент является трехмерным, простота геометрии позволяет моделировать его в двумерном приближении.

Граничные условия

Как показано на рис. 1, все границы представляют собой твердые поверхности, кроме верхней, открытой границы. На твердых стенках расчетной области задано условие прилипания, что дает условие равенства нулю всех компонентов вектора скорости. Для давления и объемной доли воды заданы условия непроницаемости (условие Неймана – нулевые градиенты давления $\nabla p = 0$ и объемной доли воды $\gamma \nabla \gamma = 0$); для кинетической энергии турбулентности k и скорости ее диссипации ϵ граничные условия задавались при помощи аппарата пристеночных функций. Влияние сил поверхностного натяжения между твердой стенкой и газожидкостной смесью в данной работе не учитывалось.

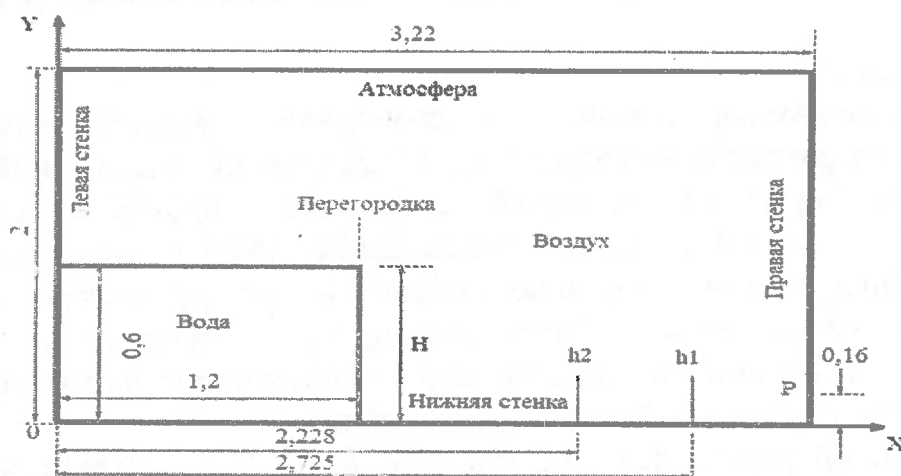


Рис. 1. Геометрия задачи и граничные условия.

На верхней, открытой границе расчетной области заданы нулевые значения для давления, объемной доли воды и всех компонент скорости.

Расчетная сетка

Простота геометрии задачи позволяет легко разделить ее на гексаэдральную сетку с равномерно расположенными ячейками. Для проверки влияния схемной диффузии были проведены тестовые расчеты при различных значениях расчетной ячейки: 1) 64×64 , 2) 128×128 , 3) 256×256 , 4) 512×512 . Проведенные методические расчеты показывают, что давление потока на правую стенку в точке Р и уровень свободной поверхности или высота водного столба сильно зависит от размеров ячеек. Кроме того, пропорциональное увеличение числа ячеек приводит к сильному увеличению времени расчета. Так для расчетной сетки размером

512x512 общее время расчета на компьютере Pentium ® Dual-Core CPU T4400 @2.20 GHz 2.87 Gb составляет около 15 часов, тогда как для сетки 64x64 это время равно приблизительно 55 с.

Более детальную информацию о методах дискретизации и численного решения трехмерных нестационарных усредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, методе объема жидкости для отслеживания межфазной границы можно получить из [1].

Результаты численных расчетов

На рис. 2 представлены численные результаты объемной доли воды для различных моментов времени.

В момент времени $t = 0$ перегородка убирается мгновенно и столб воды под действием силы тяжести устремляется в правую пустую часть резервуара. В момент времени около $t = 0,65$ с вода достигает правой стенки и, ударяясь об нее под действием силы инерции, устремляется вверх. По мере движения вверх по правой стенке поток утончается и в момент времени $t = 1,3$ с, когда сила тяжести превышает силу инерции, происходит возвратное движение воды с образованием характерного крючка. Сформированная таким образом обратная волна, достигая основного потока, ударяясь об него, образует вторичную волну и т.д. (при $t = 1,5$ с и $t = 1,8$ с). После момента времени $t = 2,2$ с инерция воды сильно уменьшается, и дальнейшее рассмотрение движения не представляет практического интереса.

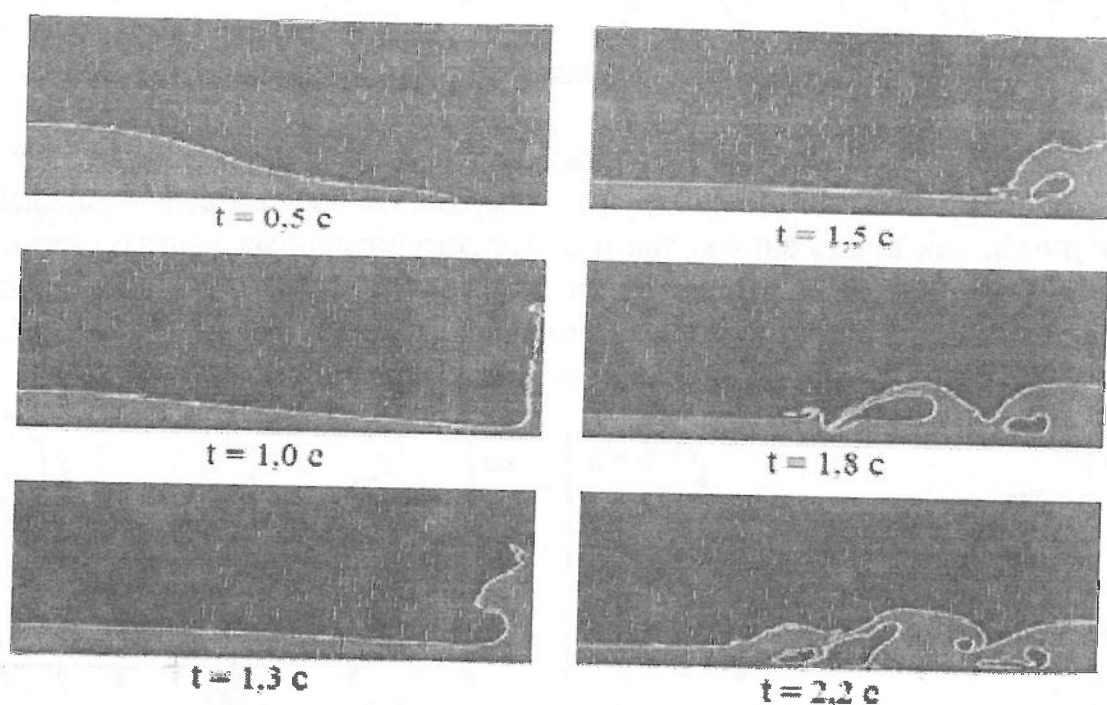


Рис. 2. Движение столба воды в различные моменты времени

Построение свободной границы

Известно, что последовательное измельчение расчетной сетки должно обеспечить получение более или менее правдоподобного положения свободной границы. Проведенные методические расчеты свидетельствуют, что более

мелкая расчетная сетка эффективно отслеживает воздушные капли – пузырьки в воде. Однако при этом имеют место две проблемы, связанные с измельчением расчетной сетки. Во-первых, чрезмерное измельчение приводит к ухудшению сходимости решения. Во-вторых, независимо от способа получения мелкой сетки получаются неправдоподобные значения скорости воздуха вблизи свободной границы. Более того, измельчение расчетной сетки более определенного предела не приводит к существенному улучшению разрешения свободной границы, и, как говорилось выше, общее время расчета неоправданно увеличивается.

На рис. 3 представлены численные и соответствующие экспериментальные данные по высоте водного столба в сечениях с координатами $x_1 = 2,725$ м и $x_2 = 2,228$ м. Совпадение между этими данными достаточно удовлетворительное до момента времени около $t = 1,5$ с для сечения $x_1 = 2,725$ м (рис. 3, а).

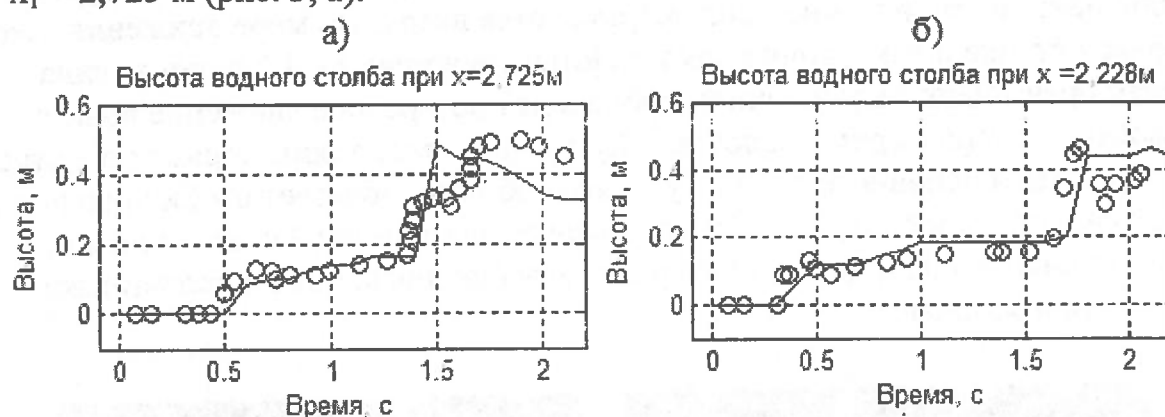


Рис. 3. Высота водного столба при различных сечениях

После этого времени обратная волна, движущаяся против основного потока, ударяется о свободную поверхность и создает определенные неточности как в численных, так и в экспериментальных данных. Разногласия такого рода также наблюдались в работе /4/, в которой для численного моделирования использовался известный коммерческий пакет FLUENT. Результаты этих авторов приведены на рис. 4.

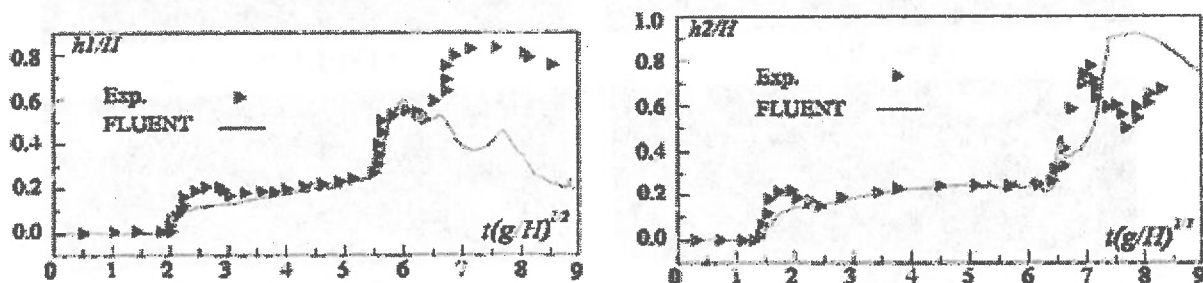


Рис. 4. Высота водного столба работы /4/

Здесь высота водного столба разделена на величину H , а время представлено в безразмерной форме $\tau = t(g/H)^{0.5}$, где $g = 9.81$ м/с² – ускорение свободного падения, $H = 0,6$ м – первоначальная высота водного столба. Из этих

рисунков можно заключить, что в данной работе уровни свободной поверхности в двух различных сечениях предсказаны точнее.

Давление на стенку

При решении нестационарных задач со свободной поверхностью, в частности, при взаимодействии образующихся волн с различными преградами очень важной является задача определения давления P на эту преграду.

На рис. 5 представлены численные результаты давления жидкости на правую стенку в точке P с координатами $(x=3,2; y=0,16)$ и соответствующие экспериментальные данные. Точное значение давления в точке P не может быть измерено, так как датчики давления имеют конечный размер – круг диаметром около 90 мм.

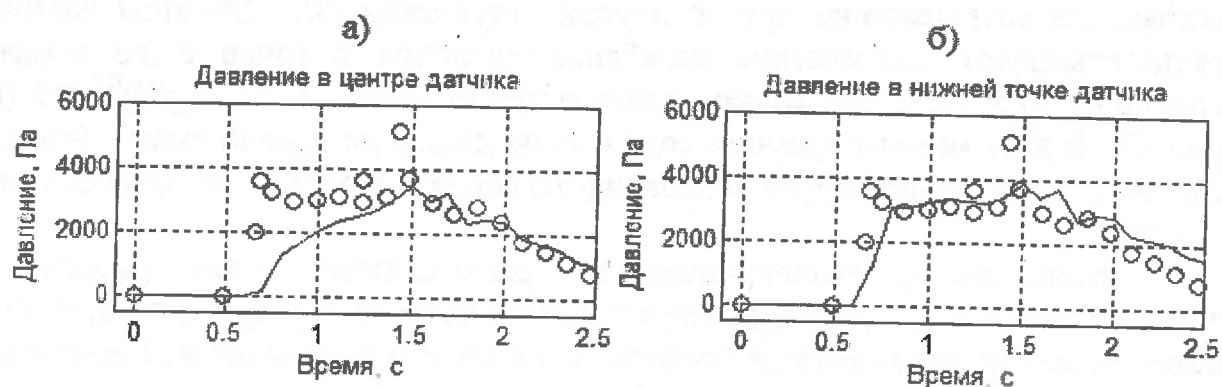


Рис. 5. Изменение давления в точке P

Расчетное давление в центре датчика давления (см. рис. 5, а) с течением времени медленно возрастает, однако после момента времени $t=1,5$ с или после второго максимума совпадение экспериментальных данных с численными результатами улучшается. Характер изменения расчетного давления в нижней точке датчика (см. рис. 5, б) достаточно хорошо повторяет соответствующий характер изменения экспериментальных данных, однако максимальные значения несколько занижены.

Подобное поведение расчетного давления показано на рис. 6, заимствованном из работы [5]. На рис. 6, а показано давление в центре, а справа – в нижней точке датчика.

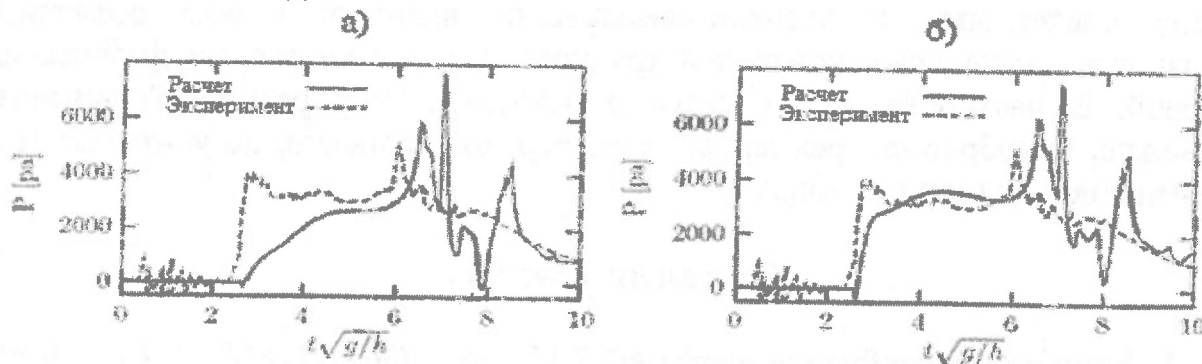


Рис. 6. Расчетные данные работы [5/

Как говорилось выше, в центре датчика давление возрастает медленно, а в нижней точке датчика – быстрее. Однако, в отличие от настоящей работы, после второго пика проявляются не обнаруженные в эксперименте колебания численного давления.

Обсуждение численных результатов

При численном моделировании предлагается, что перегородка убирается мгновенно, т.е. вертикальная скорость перегородки бесконечна. С другой стороны, могут быть и другие физические условия, которые трудно учесть в численном моделировании. Детальный анализ условий проведения эксперимента показывает, что эта скорость имеет конечное значение. Проверочные экспериментальные данные при одинаковых условиях дают разные, не совпадающие друг с другом результаты /3/. Об этом частично свидетельствуют хаотические колебания давления в точке Р до момента времени $t = 0,5$ с или до безразмерного момента времени $\tau = t(g/H)^{0,5} < 2$ (см. рис. 6). В этот момент времени вода еще не дошла до правой стенки (см. рис. 2), но датчик регистрирует колебания давления благодаря движению потока воздуха.

Кроме этого, вышеприведенные расхождения между расчетом и экспериментом после момента безразмерного времени $\tau = t(g/H)^{0,5} > 6$, как нам кажется, можно объяснить двухмерностью используемой модели. Возможно, в некоторых точках расчетной области течение приобретает трехмерный характер.

Сравнивая данные этой работы (см. рис. 3) и работы /4/ (см. рис. 4), можно утверждать, что численные результаты моделирования рассматриваемой задачи, полученные при помощи бесплатного пакета OpenFOAM, более близки к экспериментальным данным, чем результаты, полученные с помощью коммерческого пакета FLUENT.

Выводы

Рассмотрена классическая задача прорыва плотины с последующим вычислением давления потока на стенку резервуара. Решатель interFoam пакета OpenFOAM в целом дает более хорошие результаты, чем коммерческий пакет FLUENT, для рассматриваемого класса течений. Имеющиеся расхождения между численными и экспериментальными данными можно объяснить неточностью начальных условий и трудностью учета некоторых физических условий. В частности, после удара о правую стенку резервуара течение, возможно, приобретает трехмерный характер, что, конечно, не учитывается в примененной двумерной модели.

Список литературы

1. <http://www.openfoam.org/archive/1.7.1/docs/>. OpenFOAM 1.7.1 User's Guide.
2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. –М.: Энергоатомиздат, 1984.

3. Zhou, Z. Q., Kat, J. O. D. and Buchner, B., A nonlinear 3-D approach to simulate green water dynamics on deck, 7th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Nantes, France, 1999.

4. Abdolmaleki K., Thiagarajan K. P. and Morris-Thomas M. T. Simulation of the dam break problem and impact flows using a navier-stokes solver. 15th Australasian Fluid Mechanics Conference, The University of Sydney, Sydney, Australia, 13-17 December 2004.

5. Nielsen K. B., Numerical prediction of green water loads on ships, Ph.D. thesis, Technical University Of Denmark, Lyngby, Denmark, 2003.

УДК 532.517.4

А.Ж.Жайнаков, Г.Д.Кабаева

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМОЙ

Широкое распространение плазменных технологий обработки материалов приводит к необходимости решения вопросов, связанных с: созданием потоков плазмы с необходимыми свойствами; управлением характеристиками плазмы; проблемами совершенствования технологического процесса и устройств. Потоки дуговой плазмы генерируются плазмотронами, которые различаются между собой конструкционными особенностями, мощностью, плазмообразующей средой и т.д. Причем при реализации большинства технологических процессов обрабатываемое изделие из электропроводящего материала выступает в качестве второго электрода – анода (рис. 1) /1, 2/.

Явления в анодной области дуги в технологических процессах играют очень важную роль, так как определяют долю передаваемой аноду энергию дуги и тем самым характер нагрева основного металла. Поэтому изучение закономерностей взаимодействия электрической дуги с материалом необходимо для управления технологическим процессом. Общей теории анодных явлений до сих пор не существует, но отдельные ее вопросы разработаны /3-6/. Функционирование анодной области дуги характеризуется анодным падением потенциала U_a , значение и знак которого регулируют концентрацию заряженных частиц перед анодом на уровне, обеспечивающем подведение к нему разрядного тока, и определяются, в основном, энергией, потребляемой для образования положительных ионов в анодной области. По некоторым данным, U_a для дуг в молекулярных газах (азоте и воздухе) может достигать 12 В /1, 4/. Согласно представлениям плазмодинамической ситуации, ток в прианодной области переносится электронами, положительные ионы под действием поля уходят в столб дуги, и вблизи анода возникает область отрицательного объемного заряда. Анод не компенсирует оттока ионов, повышенная ионизация в прианодной области создается положительным

анодным падением потенциала /3-5/. Прианодная область характеризуется высокими градиентами температур и тепловыми потоками.

В нагрев анода вносят вклад излучение и потоки тепла из плазмы, а также электроны, приносящие свою кинетическую энергию и работу выхода. Экспериментально установлено, например, при резке, что $Q_a \approx 10$ Вт на 1 А тока дуги.

С позиции технологического процесса в результате направленного воздействия источника энергии на изделие формируется определенная зона обработки материала. Нагрев сопровождается разнообразными физическими и химическими процессами в металле: плавлением, структурными превращениями, кристаллизацией, пластическими деформациями.

Таким образом, при обработке материалов электродуговой плазмой существуют две разнородные сопряженные системы /7/. Их особенность состоит в том, что в первой с помощью плазмотрона получают источник энергии с заданными характеристиками; во второй реализуется технологический процесс, связанный с обработкой материала – сварка, резка, напыление и т.д. Реальная картина технологического процесса плазменной обработки материалов может быть получена в результате решения ряда задач (рис. 2). Для математического их описания используется система уравнений, выражающих законы сохранения массы, количества движения и энергии для разных фаз: плазменного потока, расплава и уравнения теплопроводности для твердого металла соответственно /7/.

Для решения задач моделирования технологического процесса вполне обосновано применение упрощенной расчетной модели анодной области. Упрощение основано на позициях, при которых в пределах анодного пятна температура испаряющегося анода равна температуре кипения; граница столба с анодной областью почти плоская и осевой градиент дуги $dT/dx = \text{const}$; доля кинетической энергии электронов близка единице, энергия дуги передается в сторону анода только теплопроводностью, пространственный заряд определяется только электронами /2/.

В данной работе приведены результаты решения тепловой задачи плавления и испарения на аноде, определения температурного поля в зоне воздействия с подвижными границами фаз (задача Стефана). Целью расчетов является определение координат границ плавления и испарения в определенный момент времени и температурного поля в металле /8, 9/.

Математическое описание задачи теплопереноса в системе тел с подвижными границами фаз может быть представлено для каждой фазы уравнением теплопроводности

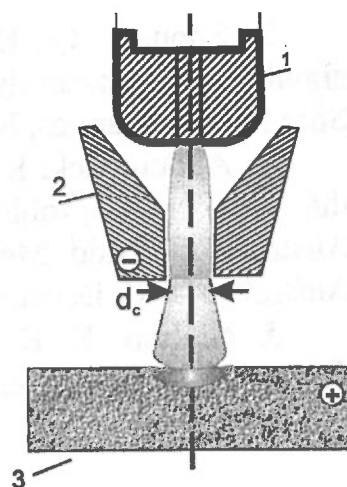


Рис. 1. Структурная схема плазменной дуги прямого действия /1/: 1 – катод, 2 – сопло, 3 – анод (изделие)

$$c_i \rho_i \frac{\partial(T_i)}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda_i \operatorname{grad} T_i) + Q ,$$

где Q – количество тепла, выделяемого источником; T_i – температура, теплофизические свойства и коэффициенты переноса металла; λ_i – теплопроводность, ρ_i – плотность, c_i – удельная теплоемкость, при $i=1$, расплавленного слоя; $i=2$ – в зоне термического влияния. Они являются функциями температуры. Плотность теплового потока источника Q определяют рабочие параметры режима горения дуги. В рассматриваемой постановке, температура фазового перехода есть функция координат и времени. Скорости перемещения границ фазовых превращений определяются из граничных условий:

на внешней границе изделие – источник нагрева

$$T_1|_{S_1} = T_{\text{ам}}|_{S_1}, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} \Big|_S + \rho L \frac{ds_1}{dt} = Q ;$$

на внутренней границе расплав – твердый металл

$$T_1|_{S_2} = T_2|_{S_2} = T_m|_{S_2}, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} \Big|_S = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n} \Big|_S + \rho L \frac{ds_2}{dt} .$$

Здесь T_1 – температура расплава, T_2 – твердого металла в зоне термического воздействия; S_1 и S_2 – фазовые границы испарения и плавления соответственно (рис. 3) ; λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности изделия в жидкой и твердой фазе соответственно, L – скрытая теплота фазового перехода; ds_1/dt , ds_2/dt – скорости движения фазовых границ испарения и плавления.

Расчеты выполнены с помощью программы моделирования процесса плазменной резки металлов, описание которого и методы решения приведены в работе /7/. В качестве анода рассмотрена низкоуглеродистая сталь толщиной 10 мм. На рис. 3 приведено распределение температуры на аноде по радиусу пятна за время его существования. В используемых для обработки материалов плазмотронах линейной схемы реализуется существование продуваемого разряда с контрагированной привязкой анодного пятна /1, 2/. За время, в течение которого оно остается неподвижным, происходят плавление и интенсивное испарение металла. На рис. 4 показано изменение температуры изделия в зависимости от времени при воздействии источника нагрева на фронтальной поверхности.



Рис. 2. Общая схема математического моделирования
процесса обработки материала
электродуговой плазмой

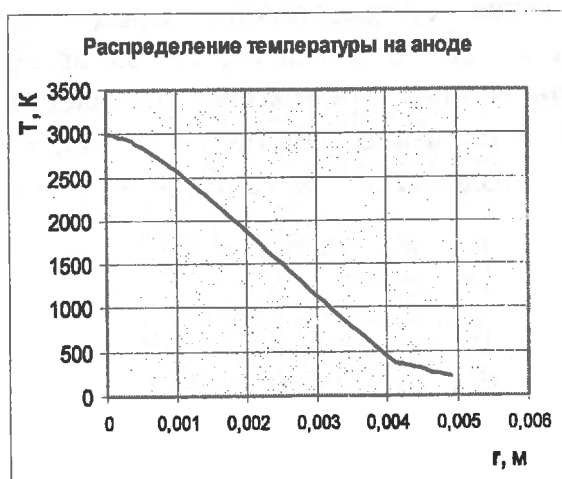


Рис. 3. Распределение
температуры по пятну
анода

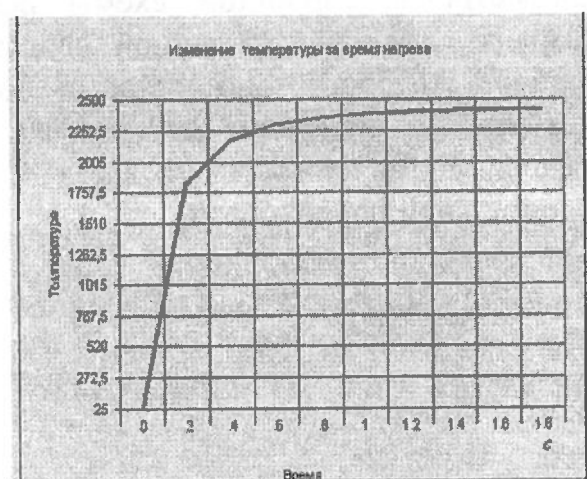


Рис. 4. Изменение температуры
изделия в зависимости от
времени

Результаты расчетов изменения координаты фронта плавления в зависимости от времени показали, что плавление происходит немонотонно, практически с некоторой возрастающей скоростью, и затем выходит на стационарное значение. На рис. 5 представлены диаграммы движения межфазной границы плавления в зависимости от времени нагрева. На первой диаграмме показан характер изменения скорости в начальный период плавления.

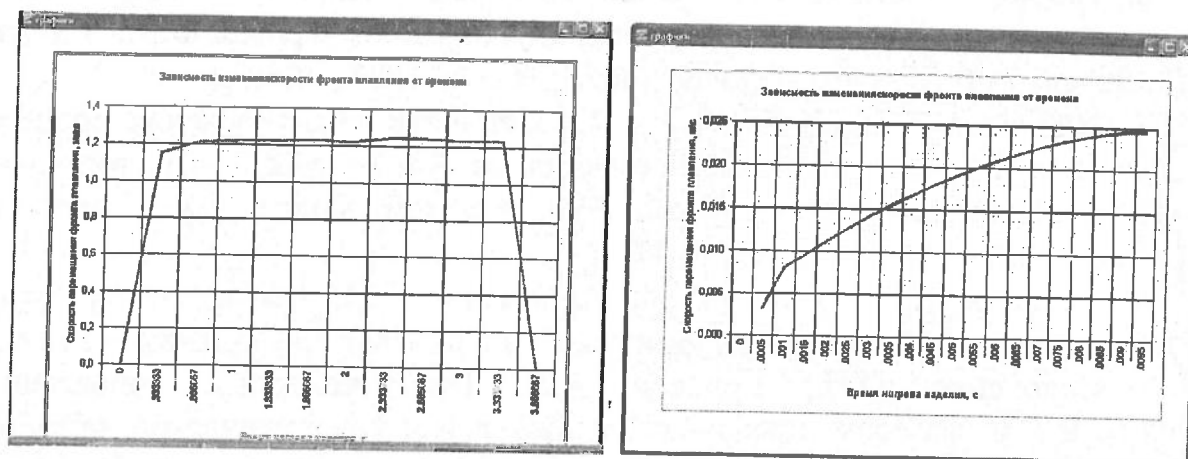


Рис. 5. Зависимости скорости движения границы фазового перехода (плавления изделия) от времени нагрева изделия

На второй диаграмме при увеличении рассматриваемого промежутка времени нагрева изделия изменение скорости перемещения межфазной границы во времени выглядит более определенно, вначале наблюдается резкое ее возрастание, затем скорость становится постоянной и по окончании времени счета становится равной нулю, т.е. стадию образования слоя расплава конечной толщины с температурой превышающей температуру плавления металла завершает процесс снесения его внешним потоком. Эти две стадии чередуются с высокой скоростью до завершения процесса резки.

В строгой постановке задача теоретического исследования анодных процессов должна включать рассмотрение и прианодной области, в которой происходит резкое изменение температуры и концентрации частиц, происходят процессы переноса заряда и тепла [6]. Однако оценка теплового вклада источника энергии является одной из конечных целей анализа технологического процесса.

Список литературы

1. Оборудование для плазменной сварки, наплавки и резки /Эсибян Э.М., Гладкий П.В., Никифоров Н.И.и др.//Машиностроение: Энциклопедия. Т.IV-6: Оборудование для сварки. – М.: Машиностроение, 1999. – 375 с.
2. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.

3. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма – М.: ИЛ, 1961. – 369 с.

4. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток. – М.: Наука, 1971. – 543 с.

5. Шоек П.А. Исследование баланса энергии на аноде сильнотоочных дуг, горящих в атмосфере аргона //Современные проблемы теплообмена. – М.: Энергия, 1966. – С. 110-139.

6. Теория термической электродуговой плазмы. Ч.1. Методы математического исследования плазмы / Жуков М.Ф., Урюков Б.А., Энгельшт В.С., Лелевкин В.М. и др. – Новосибирск: Наука, 1987. – 287 с.

7. Жайнаков А.Ж., Кабаева Г.Д. Особенности моделирования процессов теплообмена при плазменной резке металлов // Известия КГТУ, Материалы Межд.юбил.конференции «Информ. техн. и матем. мод. в науке, технике и образовании». № 24. 2011. – С. 30-37.

8. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Анищенко Л.М. Высокотемпературные технологические процессы: Теплофизич. Основы. – М.: Наука, 1985. – 172 с.

9. Солоненко О.П., Головин А.А. Нестационарный сопряженный теплообмен и фазовые превращения при высокоэнергетической обработке поверхности. Часть 2: Моделирование технологических процессов // Теплофизика и аэромеханика. – 2007. – № 4. – Т.14. – С. 623–638.

УДК 621.548

Ш.А.Ершин, А.К.Ершина

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

В 1999 г. Республика Казахстан присоединилась к рамочной Конвенции ООН по изменению климата, в марте 2009 г. ратифицировала Киотский протокол. 4 июля 2009 г. был принят Закон «О поддержке использования возобновляемых источников энергии», подписанный президентом Республики Казахстан /1, 2/.

В настоящее время доля ВИЭ в Казахстане составляет порядка 1 % от общей выработки энергии, исключая ГЭС. Прогнозируется дальнейший рост доли возобновляемых источников энергии. Думаем, что появление закона по использованию ВИЭ ускорит развитие альтернативной энергетики.

С целью придания нового импульса в сфере использовании ВИЭ и развитии энергосбережения и энергоэффективности Правительство Республики Казахстан (РК) поручило нескольким министерствам РК подготовить ряд новых законопроектов по применению ВИЭ и энергосбережения. Кроме того, Министерство охраны окружающей среды РК разработало документ «Стратегия эффективного использования энергии и возобновляемых ресурсов

РК в целях устойчивого развития до 2024 года». Концепция Стратегии предусматривает реализацию следующих этапов:

1. 2008–2009 гг. – подготовку условий для эффективного использования ВИЭ, обобщение и систематизацию наилучшего международного опыта, разработку и усовершенствование законодательной базы, создание предпосылок для стимулирования государством эффективного использования ресурсов и энергии;

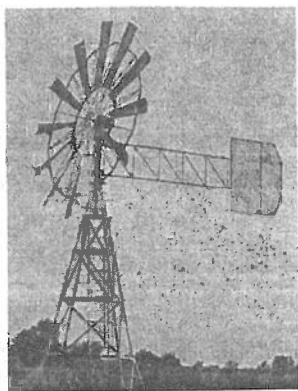
2. 2010–2012 гг. – внедрение государственных мер стимулирования использования ВИЭ, технологий энерго- и ресурсосбережения, проведение исследований и разработку программных документов, содействующих повышению эффективности системы подготовки и переподготовки кадров, трансферт технологий путем участия в деятельности предприятий, привлечения инвестиций и «ноу-хау»;

3. 2013–2018 гг. – проведение пилотных проектов во всех регионах Казахстана, развитие интегрированных энергетических систем, снижение доли теплоэнергетики, дальнейшее проведение научных исследований и технологий в области энерго- и ресурсосбережения;

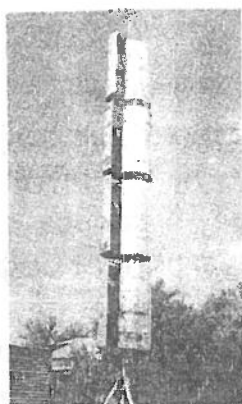
4. 2019–2024 гг. – формирование отраслей на базе ВИЭ, повсеместное распространение позитивного опыта, в том числе и в странах центральноазиатского региона, переход к «прорывным» энергетическим технологиям.

Совместно с Министерством энергетики и минеральных ресурсов РК и ПРООН разработана Национальная Программа развития ветроэнергетики, в рамках которой приблизительно определены индикативные цифры установки мощностей ветростанций на период 2010-2024 гг. По предварительным данным, установленная мощность ВЭС к 2024 г. может составлять порядка 2000 МВт.

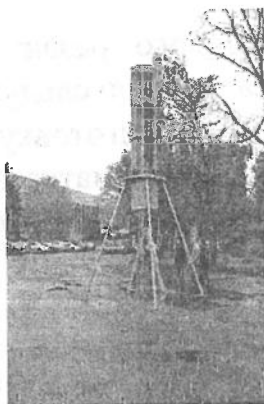
Углубленное изучение проблем использования энергии ветра в Казахстане началось в последние 15-20 лет работами Ш.А.Ершина (КазНУ им.аль-Фараби г.Алматы), А.В.Болотова (АИЭС, г.Алматы), Н.С.Буктукова (г.Алматы), Х.Ж.Байшагирова (НПО-ВЭУД г.Кокчетав), О.Баялиева (ИП «Инновационное бюро Баялиева» г.Алматы), А.К.Кусаинова (Азиямонтажинжиниринг, г.Алматы), М.М.Майлибаева (г.Алматы), Г.Б.Нурпеисовой (КазНИИ механизации и электрификации с.-х.) и др. при недостаточной финансовой поддержке правительственных органов и ПРООН (см. рис. 1).



**КазНИИ
механизации и
электрификации
сельского
хозяйства**



**ВЭУ
М.М.Майли-
баева**



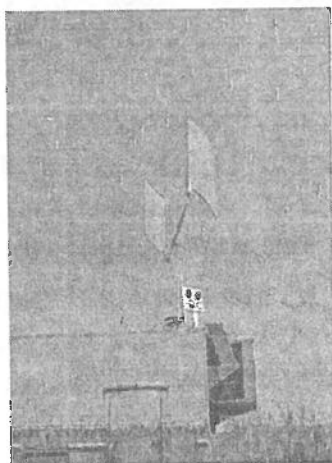
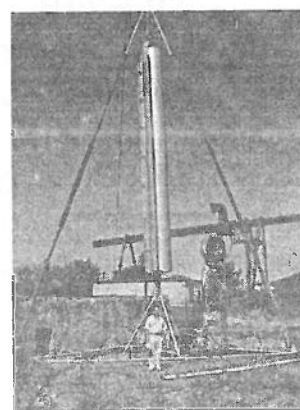
**ВЭУ
А.В.Болотова**



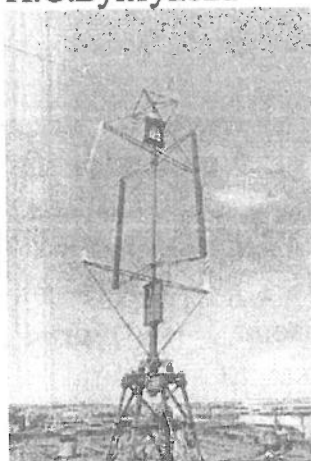
**ВЭУ
Х.Ж.Байшаги-
рова**



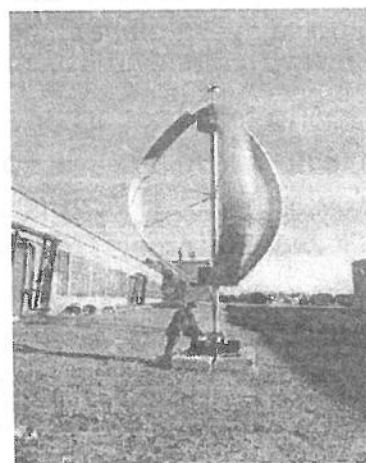
**ВЭУ
Н.С.Буктукова**



ВЭУ О.Баялиева



**ВЭУ Ш.А.Ершина
(г.Уральск)**



**ВЭУ Ш.А.Ершина,
А.К.Кусайнова (г.
Щучинск)**

Рис.1. Разработки казахстанских ученых

Что касается разработок КазНУ им.аль-Фараби и КГЖПУ, где активное участие принимают авторы данного доклада, то кратко можно сказать следующее. Коллектив в течение 20 лет

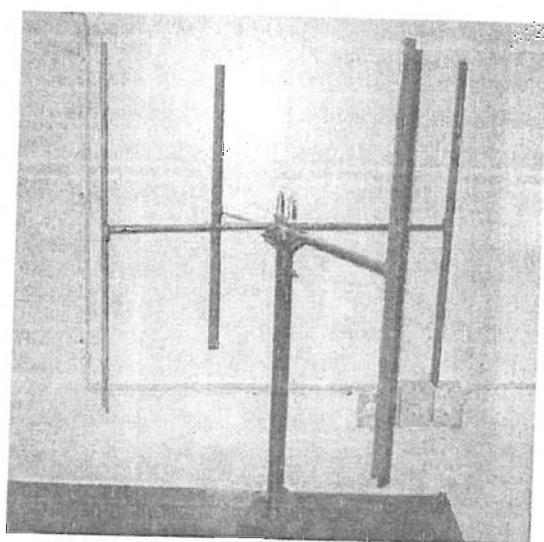


Рис.2

занимается разработкой и моделированием ВЭУ карусельного типа с аномально высоким коэффициентом использования энергии ветра. Разработаны новые версии ветротурбины, которые позволяют при одной и той же ометаемой площади снять энергию ветра на 60-70 % больше по сравнению с другими ВЭУ. Получены патенты по нескольким изобретениям: ветротурбина Бидарье (см. ВЭУ Ш.А.Ершина и рис.2), вертикально-осевой составной ветроагрегат (рис.3), организация тепловой защиты работы

ветротурбины при неблагоприятных климатических условиях (рис.4). Принципиальные схемы и фотографии конструкций разработанных нами ветроагрегатов показаны на рис. 2-5. Задачей исследования является разработка новой модификации ВЭУ карусельного типа с высокими технико-

экономическими показателями /3/.

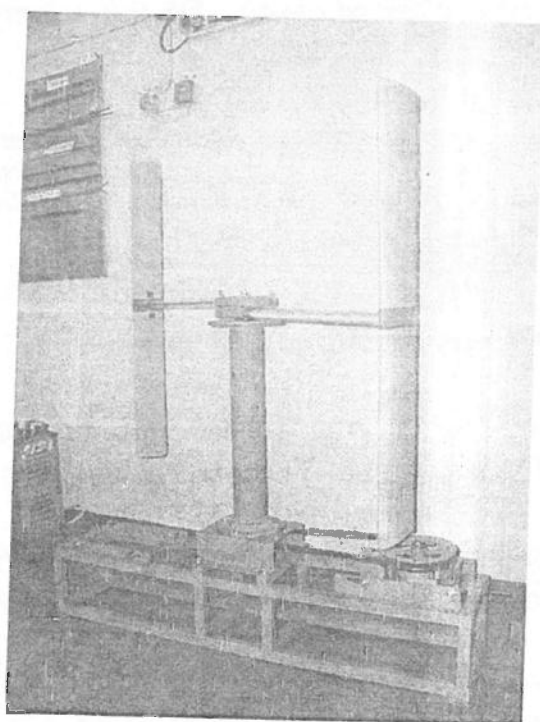


Рис.3

Идеология настоящей разработки – создать при минимальных затратах ветроагрегат и получить максимум ветровой энергии практически в любом районе нашей республики. Например, предложена конструкция ВЭУ, которая позволяет снять максимальное количество ветровой энергии. Конструкция обеспечивает вынесение основного элемента – ветротурбины – за пределы приземного пограничного слоя и тем самым сьем ветровой энергии в области потенциального движения ветра, где средняя скорость ветра в 2-3 раза выше от средней скорости ветра приземного пограничного слоя. Данная конструкция позволит агрегату начать

самопроизвольно вращаться уже при скорости ветра 3-5 м/с. Основная часть энергии будет генерироваться ветротурбиной карусельного типа (см. рис.5).

Одним из тормозящих условий является отсутствие достаточного финансирования серийного производства современных ВЭУ.

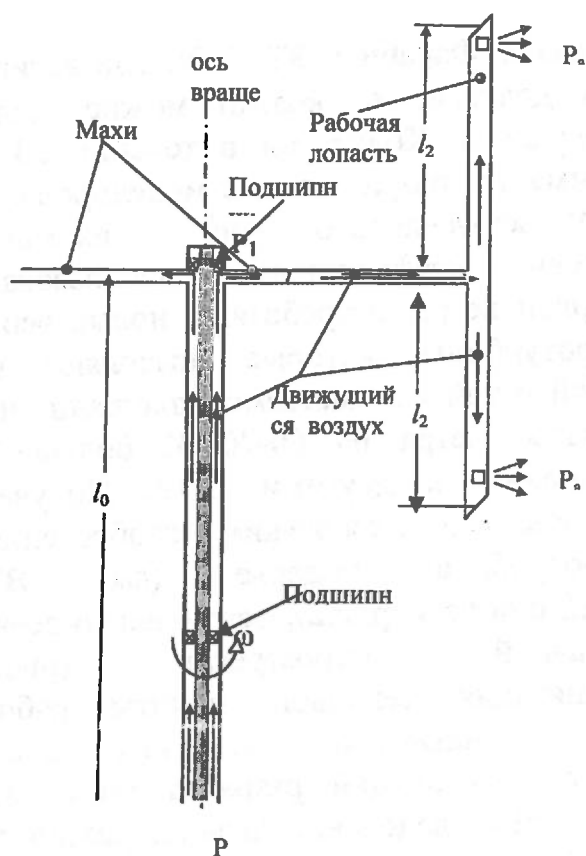


Рис.4

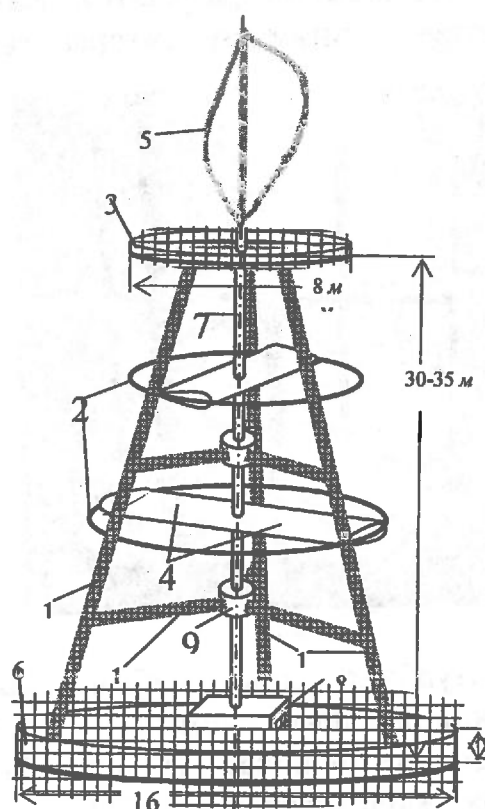


Рис. 5. Схема комбинированного ВЭУ карусельного типа

1 – треножник, 2 – обручи, 3 – монтажная площадка, 4 – горизонтальные крыловые лопасти NASA для страгивания ВЭУ, 5 – ВЭУ, 6 – ограждение для установки и аккумуляторов, 7 – вал вращения, 8 – помещение для электрогенератора и аккумуляторов, 9 – подшипники, 10 – распорки

Список литературы

1. Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» (Утверждена Указом Президента РК., №165-IV от 4.07.2009 г.).
2. Стратегия индустриально-инновационного развития Республики Казахстан до 2015 г. (Утверждена Указом Президента Республики Казахстан, № 1096 от 17.05.2003 г.).
3. Shahbaz Yershin, Ainakul Yershina, Manatbayev Rustem, Asylbek Tulepbergenov. Bi-Darrie windturbine. //ASME-ATI-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems. – Sorrento, Italy, 2010. – p. 615-619.

ОСНОВНЫЕ СУБСТАНЦИИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УРОЖАЙ СЕЛЬХОЗКУЛЬТУРЫ

Известно, что для нормального развития растений необходимо создать им хорошие условия наземных экосистем. В общем случае абиотическая часть наземных экосистем состоит из приземного слоя атмосферы, почвы, подпочвенного слоя грунта, влажности, температуры почвы, подземных вод, различных солей и др. Среди важнейших абиотических компонентов выступает почва со своими свойствами, которая представляет собой специфическое органо-минеральное природное тело, формирующееся на поверхностных слоях почвообразующих пород в результате взаимодействия всего комплекса природных факторов, как биологических, так и абиотических, включающих характеристики климата, гидрологии и почвообразующей породы. Задачи распространения тепла, влаги и различных солей по концентрации в почвогрунтах различными исследователями рассматривались в отдельности, при этом выявилось одно важное обстоятельство: тепло, влага и миграция солей должны рассматриваться с единых позиций в органической слитности как общий и взаимосвязанный процесс. Но даже если бы такая математическая модель была бы разработана и решена, все равно картина течений этих субстанций отличалась бы от реальной обстановки на сельскохозяйственном поле. В первую очередь, для оптимального роста сельхозкультур необходимо четко установить, какими приоритетными эффектами обмена и наблюдаемыми в ней процессами необходимо считаться обязательно /1-3/.

Огромное внимание в мелиорации и интенсификации сельского хозяйства уделяется повышению эффективности использования орошаемых земель, созданию прогрессивных способов орошения, улучшению техники и технологии полива, значительной экономии водных запасов, сохранению существующих сельскохозяйственных угодий. Увеличение производства продуктов сельского хозяйства, которое является нашей основной задачей, достигается, главным образом, за счет интенсификации сельхозугодий, то есть требуется научное обоснование рациональных сроков и норм полива, обеспечивающих получение запрограммированных урожаев сельского хозяйства путем комплексного управления основными факторами жизнедеятельности растений.

В настоящее время назрела потребность в новых технологиях полива сельскохозяйственных культур, которые отвечали бы современному уровню развития сельского хозяйства, при этом новые технологии, прежде всего, должны обеспечить: равномерность развития и созревания растений и повышение средней урожайности; высокую производительность труда при поливе; автоматизацию дозировки и экономное расходование поливной воды. Кроме того, следует учитывать реальную возможность массового перехода на новые технологии, простоту, доступность и экономичность. Режимы и способы

орошения в значительной степени зависят от климатических, почвенно-мелиоративных, биологических особенностей сельскохозяйственных культур.

Интерес к исследованиям в области фильтрации при полной и неполной водонасыщенных пористых средах вызвано тем, что на современном этапе развития сельского хозяйства все большее распространение получают разработка и осуществление мер по переходу на водосберегающие технологии орошения, рациональное использование водных ресурсов, повышение научной обоснованности элементов технологии полива. Известно, что для нашей республики наиболее распространенным способом орошения является поверхностный бороздковый полив, который применим для любой сельскохозяйственной культуры, но при этом имеют место отрицательные явления: перерасход оросительной воды, просачивание ее ниже корнеобитаемой зоны, неравномерность увлажнения почвы вдоль борозд, но, тем не менее, они останутся преобладающими на ближайшую перспективу.

К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал по изучению техники бороздкового полива, однако имеющиеся рекомендации отличаются неполнотой и противоречивостью. Для эффективного использования прогрессивных способов орошения, таких как бороздковый полив, импульсный бороздковый полив, внутрипочвенное и капельное орошение, необходимо надежно предсказывать насыщение корнеобитаемой зоны, глубину и интенсивность промачивания, количество воды, впитываемой в почву при инфильтрации /7/.

Большое распространение поверхностных способов орошения диктует необходимость создания механико-математических моделей и методик их решения, позволяющих выявить основные закономерности как фильтрационных, так и чисто гидродинамических процессов. Создание адекватных математических моделей позволяет выявить основные закономерности процессов влаго-, тепло- и солепереноса, степень влияния различных факторов, формирующих процессы движения их в почвогрунтах.

Процессы конвективной диффузии различных субстанций в почвогрунтах привлекают внимание научных исследователей, так как это связано с широким проникновением многих математических методов исследования в различные области наук. На сегодняшний день разработаны математические модели движения воды в почвогрунтах с определенными упрощениями. При этом, они содержат следующие этапы: исследование механизмов передвижения влаги и формализация основных законов; составление общей схемы и выбор ее упрощенного варианта; схематизация объекта и математическая постановка начально-краевых задач; определение основных параметров и характеристик и конкретизация краевых условий; разработка алгоритмов, программ и решение краевых задач; оценка погрешностей в связи с «огрублением» модели; сопоставление теоретических результатов расчетов с лабораторными и натурными наблюдениями.

Нам представляется правильным, логичным, что теплообмен в почве влияет на движение воды и процессы для нормального созревания

сельскохозяйственных культур. Перетекание влаги в пористых средах сопровождается переносом тепла, и наоборот, градиент температуры перегоняет влагу либо в виде пара, либо в виде капельно-жидкой формы. Тепловые и влагообменные процессы переплетены, перекрещены между собой и представляют единый энергетический акт тепломассопереноса. Такой обобщенный подход при освещении вопросов тепловлагообмена в почвах представляется наиболее перспективным, отражающим реальный характер природных процессов, протекающих органически слитно для обеих субстанций тепла и влаги, то есть необходимо разработать совместную математическую модель тепло- и влагообмена в почвогрунтах /4/.

Почва представляет собой многофазную капиллярно-пористую систему, теплопередача внутри которой осуществляется одновременно теплопроводностью внутри частиц, в местах их непосредственных контактов, конвенцией и в межпоровом пространстве в результате переноса влаги. Определение температурного поля в почве, где действуют многие факторы, является задачей исключительной сложности. В настоящее время разработаны отдельные математические модели распространения тепла и влаги в зависимости от природы и с внутренними особенностями почвы, спецификой тепло- и влагообмена в почве.

Проблема борьбы с засолением орошаемых земель, развивающимся в условиях высокого стояния грунтовых вод и интенсивного подъема растворенных в них различных солей капиллярными токами в почвенные горизонты, является актуальной. Значение этой проблемы все более возрастает в связи с общим развитием орошения и сопутствующим ему массовым развитием засоления почв в большинстве орошаемых районов. Известно, что грунтовые воды содержат определенное количество различных солей, отрицательно действующих на нормальный рост и развитие сельскохозяйственных культур. И это заставляет человечество прибегать к различным способам и методам их устранения, которые требуют огромных вложений и ресурсов. Из чего же складывается такая ситуация? Из практики полива можно сделать выводы: это неудовлетворительная планировка орошаемых земель, участки, имеющие разные длины и уклоны, при которых, создаются трудности при дозировке и контроле за равномерностью увлажнения почвы. Отсюда увеличивается поливная норма, увеличение потерь воды на фильтрацию и повышение уровня грунтовых вод. Таким образом, интенсивность поднятия уровня грунтовых вод зависит от технического уровня оросительной системы, т.е. засоление и подтопление земель существенно зависят от техники полива.

Для предупреждения засоления орошаемых земель и борьба с его последствиями сводятся к следующему: уменьшению питания грунтовых вод, что приводит к опусканию их уровня до глубины, при которой прекращается их интенсивное испарение; сокращению испарения с поверхности почвы, что уменьшает перенос солей в верхние слои почвы; устройству дренажа для отвода грунтовых вод с различными солями, загрязняющими веществами;

применению искусственных мероприятий по удалению солей (промывка почвы) и химических мер воздействия.

Почва является уникальным природным образованием, основным источником получения продуктов питания, местом деятельности человечества, на котором размещается промышленность, сельское хозяйство. В связи с увеличением численности населения, усилением производственной деятельности человека интенсивнее загрязняются слои почвы. Основными загрязнителями почвогрунта являются различные тяжелые металлы, радиоактивные элементы, удобрения, ядохимикаты и др., применяемые в сельском хозяйстве для борьбы с сорняками и болезнями растений, с различного рода вредителями. Использование минеральных удобрений, ядохимикатов, интенсивное развитие городов, промышленности, рост отходов и т.д. приводят к загрязнению атмосферы, атмосферных осадков, почв, поверхностных и грунтовых вод. Предотвращение загрязнения вод тесно связано с охраной окружающей среды, защитой почвы от всех загрязняющих веществ. К интенсивному загрязнению и эрозии почвогрунта приводит орошение сельскохозяйственных угодий поверхностным поливом. Как правило, такое орошение, являясь основным способом орошения, приводит к засолению и заболачиванию почвогрунтов, так как все воды содержат в себе различные соли и минералы. При интенсивном испарении воды из почвы в ней остаются растворенные в воде соли. Поэтому в настоящее время прогнозирование переноса влаги с различными загрязнителями, в том числе и солями в почвогрунтах, весьма актуально. Таким образом, большое распространение поверхностных способов орошения диктует необходимость разработки математических моделей и методов их решения, позволяющих выявить основные закономерности как фильтрационных, так и гидродинамических процессов переноса влаги и солей /3-4/.

Для сельского хозяйства большое значение имеет изучение солевого режима почвы и грунтов. К сожалению, в нашей республике к настоящему времени очень мало научно-исследовательских работ, посвященных миграции солей с переносом влаги в почвах с применением современных математических методов.

Как известно, грунтовые воды всегда содержат определенное количество растворенных солей. Определенное количество солей находится в грунте, в твердой фазе, может быть сорбированным на частицах грунта, быть рассеянным внутри пор почвы, а также появиться в результате орошения. При подъеме грунтовых вод влага приближается к поверхности почвы на довольно близкое расстояние, происходит интенсивное испарение, и соли выносятся в верхние части грунта и на его поверхность. При этом снижается плодородие почвы, а через некоторый промежуток времени используемая земля может стать неплодородной /5, 6/. Поэтому задачи исследования водно-солевого режима почв и грунтов имеют важное значение для мелиорации. Теоретическое изучение процесса солепереноса сводится к исследованию изменения концентрации в пространстве и во времени.

Рассмотрим модель, отражающую зависимость урожая сельхозкультуры от процессов влаго- и солепереноса, протекающих на сельскохозяйственном поле. Речь идет об анализе и оценке многогранного и разнохарактерного эффекта получения оптимального урожая благодаря наиболее благоприятному сочетанию сложного комплекса различных свойств и состояний внешней среды — почвы и приземного воздуха. Из всего разнообразия факторов, влияющих на судьбу урожая, наиболее существенными являются влаго-, соле- и теплообменные процессы. Многовековой опыт земледелия убеждает нас, что все обилие факторов в конечном итоге можно свести к воде, теплу, свету, пище и углекислоте. Все эти субстанции сельхозкультура впитывает из окружающей среды, перерабатывает, частично усваивает, и из этого формируется урожай. При этом желательно, чтобы этот поток энергии и массы, притекающий к растению, утилизировался последним в оптимальных количествах. Для растения одинаково плохи и весьма малые, и очень большие порции воды, пищи, тепла и т.д. Необходимо знать, что каждый из факторов является весьма сложной и многокомпонентной субстанцией, а одновременное их наложение приводит к очень запутанной картине, которая формирует урожай в целом. Чтобы разобраться в этой картине, необходимо ответить на вопрос, какими параметрами, важными и характерными для растения, можно оценивать каждый из этих факторов, сколько должно быть таких параметров и сколько из них необходимо обязательно принять в расчет. Говоря о тепловом факторе, можно перечислить ряд его характеристик, таких как температура, количество тепла, теплофизические свойства почвы и т.д. В качестве единственного и наиболее влиятельного показателя того или иного фактора принимают некоторую его особенность — часто такую роль пытаются приписать критическим температурам, солям, т.е. таким, ниже или выше которых растение перестает нормально развиваться или даже гибнет. Но даже критические температуры, соли ни в коей мере не могут отразить всей сложности тепловых процессов на сельскохозяйственном поле.

Влажность почвы также наделяется универсальными качествами при суждении о водном режиме на поле, необходимом для обеспечения благоприятных условий для произрастания растений или для установления плохих условий для их развития. Содержание различных солей (натрия, калия, фосфора) в корнеобитаемом слое почвы не может характеризовать благоприятный уровень питания растения, нужного для выращивания оптимального урожая. Хотя, в основном, существуют пять факторов урожайности. Но каждый из них — тепло, вода, свет, пища, углекислота, — воздействуя на сельхозрастение, находящееся в динамическом взаимодействии с почвой и воздухом, представляет собой довольно сложную комплексную субстанцию, наделенную многими чертами, параметрами. Поэтому для того, чтобы разобраться во всем сложной взаимопереплетенной обстановке на сельскохозяйственном поле, а особенно для того чтобы количественно оценить ее основные особенности, приходится ограничить себя выбором главного показателя для каждого фактора урожайности. Поэтому мы вынуждены

ограничиться лишь изучением таких моделей, которые ставят в однозначную связь урожай с тепловыми, солевыми и влажностными параметрами внешней среды.

Таким образом, большое влияние на урожай сельхозкультуры имеют водно-тепловые и солевые режимы почвы. Водный режим почв оказывает значительное воздействие на изменение солевого и теплового режима, тепловой режим, в свою очередь, сильно влияет на испарение с поверхности почвы и транспирацию, что, в свою очередь, влияет на миграцию солей. Поэтому задача исследования закономерности процесса движения вышеприведенных субстанций внутри почвы представляет большой практический интерес для определения межполивного периода и регулирования водно-теплового и солевого режима почвы с целью повышения урожайности сельхозкультур.

Список литературы

1. Баренблат Г.И., Ентов В.М. Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. – М.: Недра, 1972. – С.288.
2. Бэр Я., Заславский Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. – М.: Мир, 1971. – 452 с.
3. Варлев И. Оптимизация равномерности полива //Гидротехника и мелиорация. – 1981. – № 6. – С.77-81.
4. Глобус А.Н. Исследование передвижения воды в почвах и грунтах под влиянием градиента температуры: Автореф. канд. дисс. – Л., 1962. – 21 с.
5. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 535 с.
6. Нерпин С.В., Янгарт В.А. Задача о совместном переносе воды и солей в почвогрунтах при полном и частичном насыщении //Материалы межведомственного совещания по мелиорации, гидрогеологии и инженерной геологии. – М., 1972. – Вып.2. – С.225-232.
7. Фавзи И.А., Шестаков В.Н. Моделирование влагопереноса в зоне аэрации при периодических поливах. Физическое и математическое моделирование //Труды ВАСХНИЛ. – М., 1973. – Т. 12. – С.238-242.

УДК 532.546

У.М.Туганбаев, А.А.Топчубаев, Н.О.Турусбекова

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО УРАВНЕНИЯ СОЛЕПЕРЕНОСА В ВИДЕ ПЛОСКИХ ВОЛН

Автором работы /1/ при исследовании фильтрации жидкостей через пористую среду в условиях их физико-химического взаимодействия рассмотрено совместно уравнение фильтрации и солепереноса. Математическая

модель, составленная им, представляет собой замкнутую систему дифференциальных уравнений, которые описывают фильтрацию воды в грунте по закону Дарси и уравнению неразрывности потока, а также уравнение солевого баланса для потока грунтовых вод при наличии всех составляющих вектора скорости фильтрации /1/.

$$u = -k \frac{\partial h}{\partial x}, \quad v = -k \frac{\partial h}{\partial y}, \quad w = -k \frac{\partial h}{\partial z}, \quad (1a)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (1б)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} + \gamma \mu (C_0 - C) = m_0 \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (1в)$$

$$\text{где } u_x = -uC + \mu D \frac{\partial C}{\partial x}, \quad u_y = -vC + \mu D \frac{\partial C}{\partial y}, \quad u_z = -wC + \mu D \frac{\partial C}{\partial z},$$

$$h(x,y,z) = \frac{p}{\gamma} + z, \quad k = \frac{k_0 \gamma}{\mu}, \quad \gamma - \text{const растворения, } m_0 - \text{пористость грунта,}$$

x, y, z, t – пространственные и временная координаты.

При определенных ограничениях, накладываемых на коэффициенты влаго- и солепереноса, а также допущениях, не противоречащих физике процесса, решение указанной системы уравнений сводится к решению одного уравнения:

$$m_0 \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \text{div}(vC), \quad (2)$$

где $C(x,y,z,t)$ – концентрация соли в жидкости, u, v, w – составляющие скорости фильтрации, D – коэффициент диффузии.

В общем случае миграция солей в почвогрунтах происходит вследствие перемещения их с растворами конвективным и диффузионным способами. Конвективный перенос солей происходит при подаче оросительной воды в почву, инфильтрации осадков, при движении грунтовых вод, изменении их уровня. Коэффициент диффузии D является функцией от C , явный вид которого устанавливается эмпирически, в частности в /2/ была установлена экспоненциальная зависимость вида $D(C) = \alpha \exp \beta C$. где α, β – const, характеризующие свойства почвы и определяемые опытным путем для каждого вида грунта.

Уравнение (2) решается при следующих допущениях: почва считается однородной и изотропной, поэтому компоненты скорости фильтрации постоянны, постоянен и коэффициент диффузии, т.е. уравнение (2) запишется

$$m_0 \frac{\partial C}{\partial t} = D_0 \left[\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right] - u_0 \frac{\partial C}{\partial x} - v_0 \frac{\partial C}{\partial y} - w_0 \frac{\partial C}{\partial z}. \quad (3)$$

Для данного уравнения ставятся следующие начально-краевые условия:

$$\text{а) В начальный момент } t = t_0. \quad C(x, y, z, t_0) = P(x, y, z). \quad (4)$$

$$\text{б) На границе } \Gamma \quad C(x, y, z, t) = Q(x_0, y_0, z_0, t). \quad (5)$$

Для решения уравнения (3) поступим следующим образом. Введем новую функцию вида

$$C(x, y, z, t) = \exp \xi \cdot \theta(x, y, z, t), \quad \xi = a_0 x + b_0 y + c_0 z + d_0 t. \quad (6)$$

Определим все необходимые частные производные

$$C_t = d_0 \cdot \exp \xi \cdot \theta + \exp \xi \cdot \theta_t,$$

$$C_x = a_0 \exp \xi \cdot \theta + \exp \xi \cdot \theta_x, \quad C_{xx} = a_0^2 \exp \xi \cdot \theta + 2a_0 \exp \xi \cdot \theta_x + \exp \xi \cdot \theta_{xx}.$$

Аналогично, определяя частные производные по y и z и подставляя в рассматриваемое уравнение, получим

$$m_0 \theta_t = D_0 (\theta_{xx} + \theta_{yy} + \theta_{zz}) + (2D_0 a_0 - u_0) \theta_x + (2D_0 b_0 - v_0) \theta_y + \\ + (2D_0 - w_0) \theta_z + [D_0 (a_0^2 + b_0^2 + c_0^2) - u_0 a_0 - v_0 b_0 - w_0 c_0 - m_0 d_0] \theta.$$

$$\text{Если } a_0 = \frac{u_0}{2D_0}, \quad b_0 = \frac{v_0}{2D_0}, \quad c_0 = \frac{w_0}{2D_0}, \quad d_0 = -\frac{u_0^2 + v_0^2 + w_0^2}{4m_0 D_0}, \quad \tau = \frac{D_0}{m_0} t,$$

то получим следующее линейное уравнение в частных производных второго порядка

$$\theta_\tau = \theta_{xx} + \theta_{yy} + \theta_{zz}, \quad (7)$$

которое является основным уравнением наших исследований.

I Пусть оно может иметь решение в форме

$$\theta(x, y, z, \tau) = f_0(\tau) \cdot f_1(\eta), \quad \eta = ax + by + cz. \quad (8)$$

Если найти все частные производные $\theta_\tau, \theta_{xx}, \theta_{yy}, \theta_{zz}$ и подставить в уравнение (7), то имеем систему из двух уравнений для определения искомых функций:

$$\text{а. } f_0'(\tau) - \lambda^2 f_0(\tau) = 0. \quad \text{б. } (a^2 + b^2 + c^2) f_1''(\eta) - \lambda^2 f_1(\eta) = 0 \quad (9)$$

Отсюда определяем

$$f_0(\tau) = \exp \lambda^2 \tau, \quad f_1(\eta) = C_1 \exp \alpha_1 \eta + C_2 \exp \alpha_2 \eta \quad (10)$$

$$\text{где } \alpha_1 = \pm \frac{\lambda}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}, \quad \lambda - \text{const.}$$

С учетом найденных функций сама функция θ запишется

$$\theta(x, y, z, \tau) = [C_1 \exp(-\frac{\lambda \eta}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}) + C_2 \exp \frac{\lambda \eta}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}] \cdot \exp \lambda^2 \tau, \quad (11)$$

$$\text{а при } a^2 = \frac{u_0^2}{6D_0^2}, \quad b^2 = \frac{v_0^2}{6D_0^2}, \quad c^2 = \frac{w_0^2}{6D_0^2}, \quad \lambda = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}, \quad \tau_1 = \frac{u_0^2 + v_0^2 + w_0^2}{12D_0^2} \tau,$$

$$x_1 = \frac{u_0}{2D_0} x, \quad y_1 = \frac{v_0}{2D_0} y, \quad z_1 = \frac{w_0}{2D_0} z, \quad \xi_1 = x_1 + y_1 + z_1 - \tau_1,$$

имеем следующее решение уравнения (3)

$$C(x, y, z, \tau) = [C_1 \exp(-\eta) + C_2 \exp \eta] \cdot \exp \xi \cdot \exp \lambda^2 \tau. \quad (12)$$

II Другое решение можно найти в форме

$$\theta(x, y, z, \tau) = f_0(\tau) \cdot f(\xi_1), \quad \xi = a_1 x + a_2 y + a_3 z + a_4 \tau. \quad (13)$$

Определяя все частные производные и подставляя в (7), получим выражение, которое можно записать в виде системы

$$\text{а. } f_0'(\tau) - \lambda^2 f_0(\tau) = 0. \quad \text{б. } (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) f''(\xi_1) - a_4 f'(\xi_1) - \lambda^2 f(\xi_1) = 0. \quad (14)$$

Первое уравнение имеет решение $f_0(\tau) = \exp \lambda^2 \tau$, а второе уравнение имеет характеристическое уравнение, корнями которого являются

$$\alpha_{1,2} = \frac{a_4 \pm \sqrt{a_4^2 + 4(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)\lambda^2}}{2(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)}. \quad (15)$$

В зависимости от дискриминанта D имеем различные решения.

а. Если $D > 0$, то имеем

$$f(\xi_1) = C_1 \exp \xi_1 + C_2 \exp(-4\xi_1/3), \quad (16)$$

при $a_1 = a_2 = a_3 = -a_4 = 1$, $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = -4/3$, $\xi = x + y + z - \tau$, $\lambda = \pm 2$,

а сама искомая функция запишется

$$\theta(x, y, z, \tau) = \left[C_1 \exp \xi_1 + C_2 \exp(-4\xi_1/3) \right] \exp 4\tau. \quad (17)$$

б. Если $D = 0$, то имеем

$$f(\xi_1) = c_1 \exp \xi_1 + c_2, \quad (18)$$

при $a_1 = a_2 = a_3 = 1$, $a_4 = \pm 4$, $\alpha_1 = \alpha_2 = 2/3$, $\lambda = \frac{2}{3}i$,

причем искомая функция примет вид

$$\theta(x, y, z, \tau) = [C_1 \exp \xi_1 + C_2] \exp^{-16\tau/9}. \quad (19)$$

в. Если $D < 0$, то функция примет вид

$$f(\xi_1) = \left(C_1 \cos \left(\xi_1/2 \right) + C_2 \sin \left(\xi_1/2 \right) \cdot \exp(\xi_1/6) \right), \quad (20)$$

при $a_1 = a_2 = a_3 = -a_4 = 1$, $\alpha_{1,2} = \frac{1}{6} \pm \frac{1}{2}i$, $\lambda = \sqrt{\frac{5}{6}}i$,

а искомая функция запишется

$$\theta(x, y, z, \tau) = \exp(-5\xi_1/6) \cdot \exp \xi_1/6 \cdot \left[C_1 \cos \left(\xi_1/2 \right) + C_2 \sin \left(\xi_1/2 \right) \right]. \quad (21)$$

Таким образом, функция солепереноса с учетом (6,13) запишется

$$C(x, y, z, t) = \exp \xi \cdot \exp \lambda^2 \tau \cdot f(\xi_1) \quad (22)$$

причем функция $f(\xi_1)$ имеет вид одного из значений (16, 18, 19).

III Пусть теперь разработаем решение в виде

$$\theta(x, y, z, \tau) = f(\xi_1) [f_0(\tau) + f_1(\eta)], \quad \xi = a_1 x + a_2 y + a_3 z + a_4 \tau, \quad (23)$$

$$\eta = b_1 x + b_2 y + b_3 z.$$

Здесь также определяя все частные производные и подставляя в уравнение (7), получим

$$(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)f'' - a_4f' - \frac{f_0'}{f_0}f = (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)f'' + 2(a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3) \times \\ \times \frac{f_1'}{f_1}f' + (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2)\frac{f_1''}{f_1}f - a_4f'$$

Последнее выражение можно записать в виде системы двух уравнений, если

$$f(\eta) = \exp k\eta, \quad f_0(\tau) = \exp n\tau \quad (24)$$

$$a. \quad (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)f'' - a_4f' - nf = 0.$$

$$б. \quad (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)f'' + [2(a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3)k - a_4]f' + \\ + (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2)k^2f = 0. \quad (25)$$

Оба эти уравнения идентичны, если $a_1 = a_2 = a_3 = 1$, $b_1 = b_2 = 1$, $b_3 = -2$, $n = -6k^2$, тогда имеем следующее уравнение

$$3f'' - a_4f' + 6k^2f = 0, \quad 3\alpha^2 - a_4\alpha + 6k^2 = 0. \quad (26)$$

Откуда находим $\alpha_1 = -2$, $\alpha_2 = -1$, $k = 1$, $n = -6$, $a_4 = -9$.

Таким образом, функции $f(\xi)$, $f_0(\tau)$ и $f_1(\eta)$ и имеют вид

$$f(\xi_1) = (c_1 \exp(-2\xi_1) + c_2 \exp(-\xi_1)), \quad f_0(\tau) = \exp(-6\tau), \quad f_1(\eta) = \exp \eta, \quad (27)$$

где $\xi_1 = x + y + z - 9\tau$, $\eta = x + y - 2z$.

В этом случае, искомая функция окончательно запишется

$$C(x, y, z, \tau) = \exp \xi \cdot [C_1 \exp(-2\xi_1) + C_2 \exp(-\xi_1)] \cdot [\exp(-6\tau) + \exp \eta]. \quad (28)$$

IV Рассмотрим еще одно решение в виде

$$\theta(x, y, z, \tau) = f_0(\tau) f(\xi_1) + f_1(\eta), \quad \xi = a_1x + a_2y + a_3z + a_4\tau, \\ \eta = b_1x + b_2y + b_3z. \quad (29)$$

В результате подстановки, имеем систему из двух уравнений

$$1. \quad (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)f'' - a_4f' - nf = 0. \quad 2. \quad f_1'' = 0, \quad \text{где } f_0(n) = \exp n\tau. \quad (30)$$

Разрешая эти уравнения, получим

$$\theta(x, y, z, \tau) = \exp 4\tau [C_1 \exp(-\frac{4\xi_1}{3}) + C_2 \exp(\xi_1)] + C_3\eta + C_4, \quad (31)$$

где $f_1(\eta) = C_3\eta + C_4$, $a_4 = -1$, $a_1 = a_2 = a_3 = 1$, $n = 4$, $\alpha_1 = -\frac{4}{3}$, $\alpha_2 = 1$.

Тогда искомая функция солепереноса, окончательно запишется

$$C(x, y, z, \tau) = \exp \xi \cdot \{ \exp 4\tau [C_1 \exp(-\frac{4\xi_1}{3}) + C_2 \exp(\xi_1)] + C_3\eta + C_4 \}. \quad (32)$$

V. И, наконец, рассмотрим еще одно решение в виде

$$\theta(x, y, z, \tau) = f_0(\tau)f_1(\eta_1) + f(\xi_1)f_2(\eta_2), \quad \eta_1 = b_1x + b_2y + b_3z, \\ \eta_2 = d_1x + d_2y + d_3z, \quad \xi_1 = a_1x + a_2y + a_3z + a_4\tau. \quad (33)$$

В результате подстановки (33) в уравнение (7) получим следующее выражение:

$$f_0' f_1 + a_4 f_2 f' = (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) f_0 f_1'' + (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2) f f_2'' + \\ + (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) f_2 f'' + 2(a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3) f_2' f'$$

Запишем последнее выражение в виде

$$-(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) f_0 f_1'' + f_0' f_1 = (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) f_2 f'' + \\ + [2(a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3) f_2' - a_4 f_2] f' + (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2) f f_2''. \quad (34)$$

$$\text{Зная, что } f_0(\tau) = \exp \tau, \quad f_2(\eta_2) = \exp k \eta_2, \quad (35)$$

имеем систему из двух уравнений

$$\text{а. } (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) f_1'' - n f_1 = 0, \quad (36)$$

$$\text{б. } (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) f'' + [2(a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3) k - a_4] f' + \\ + (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2) k^2 f = 0. \quad (37)$$

Уравнение (36) имеет решение

$$f_1(\eta_1) = C_1 \exp \sqrt{\frac{n}{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}} \eta_1 + C_2 \exp \left(- \sqrt{\frac{n}{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}} \eta_1 \right). \quad (38)$$

Решение уравнения (37) определяются в зависимости от коэффициентов его характеристического уравнения, т.е. от его дискриминанта.

а. Если $a_1 = a_2 = a_3 = d_1 = d_2 = 1$, $a_4 = -1$, $k = 1/4$ то $D = 4 > 0$, $\alpha_1 = -4/3$,

$\alpha_2 = -2/3$ то решение уравнения (37) имеет вид

$$f(\xi_1) = C_1 \exp \left(-4\xi_1/3 \right) + C_2 \exp \left(-2\xi_1/3 \right). \quad (39)$$

б. При $k_1 = -1/12$, $\alpha_1 = \alpha_2 = -1$, $D = 0$ решение запишется

$$f(\xi_1) = C_1 \exp(-\xi_1) + C_2. \quad (40)$$

в. При $k = -5/6$, $\alpha_{1,2} = -1 \pm i/2$, $D = -9 < 0$ решение примет вид

$$f(\xi_1) = \exp(-\xi_1) [C_1 \cos(\xi_1/2) + C_2 \sin(\xi_1/2)]. \quad (41)$$

С учетом (33, 35, 39, 40, 41) решение уравнения (7) запишется как

$$\theta(x, y, z, \tau) = \exp \tau \cdot \left[C_1 \exp \sqrt{\frac{n}{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}} \eta_1 + C_2 \exp \left(- \sqrt{\frac{n}{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}} \eta_1 \right) \right] + \\ + \exp k \eta_2 \cdot f(\xi_1), \quad (42)$$

а сама искомая функция окончательно имеет вид

$$C(x,y,z,\tau) = \exp \xi \cdot \{ \exp \eta \tau \cdot [C_1 \exp \sqrt{\frac{n}{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}} \eta_1 + \\ + C_2 \exp \left(- \sqrt{\frac{n}{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}} \eta_1 \right)] + \exp k \eta_2 \cdot f(\xi_1) \} . \quad (43)$$

Таким образом, нами разработан класс новых решений трехмерного уравнения солепереноса, записанных в формах плоских волн с различными модификациями. Эти решения полезны при расчетах и прогнозе солевого режима почвогрунтов и грунтовых вод, основанных на принципах геохимической гидродинамики и результатах ее применения в области орошения, нестационарного процесса засоления почвогрунтов под влиянием подъема соленых грунтовых вод, поступления в грунты избыточной поливной воды. Анализ полученных решений даст возможность провести прогноз «засоления – рассоления» почвогрунтов.

Список литературы

1. Веригин Н.Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники // Известия АН СССР, ОТН. – 1953. – № 10.
2. Gardner W.R. Some study – state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application waporation from awater table. Soilsci. 1938, vol. 85,4 . P.228-273.
3. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1976. – 576 с.

УДК 532.546

У.М.Туганбаев, С.Т.Жусупбекова

К ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Вопрос об охране и защите подземных вод, в которых проектируются или уже действуют водозаборы для хозяйственно-питьевого водоснабжения, обводнения и орошения земель или других целей от загрязнения, весьма актуален. Основными источниками потенциального загрязнения воды в подземных водозаборах являются: фильтрация воды из ближайших к ним загрязненных рек и водоемов, фильтрация талых и дождевых вод, окисляющих и растворяющих ядохимикаты и удобрения на сельскохозяйственных землях, а также осадки различных аэрозолей, дымов и газов от предприятий и автотранспорта на поверхности почвы; фильтрация токсичных промышленных, сельскохозяйственных стоков из наземных и подземных хранилищ, особенно, если они не имеют достаточно надежных противofiltrационных защит и

дренажных устройств. Главный и основной источник загрязнения подземных вод – это приток к водозаборам из загрязненных рек и водоемов. Загрязнение рек и водоемов происходит, в основном, сбросом в них неочищенных или недостаточно очищенных отходов промышленных предприятий и городов, поступлением коллекторно-дренажных вод с сельскохозяйственных полей, содержащих соли, вымываемые из почвогрунтов при промывках и орошении засоленных почв, а также загрязненных талых, дождевых и дренажных вод с сельскохозяйственных земель. Конечно с проведением мероприятий по очистке промышленных стоков и прекращению сбросов их в реки и водоемы загрязнения их будет уменьшаться. Однако сброс солей с засоленных почв, а также продуктов окисления ядохимикатов и удобрений с орошаемых земель будет продолжаться. Также неизбежно и продвижение к водозаборам уже образовавшихся зон загрязнения подземных вод вблизи загрязненных рек и хранилищ промышленных стоков, которые в некоторых районах протягиваются на большие расстояния. Поэтому возникает вопрос о расчете – прогнозе гидрохимического режима действующих и проектируемых водозаборов для предотвращения их загрязнения. Создание мероприятий по защите водозаборов от загрязнения может включать специальный завес из нагнетательных скважин, оттесняющих загрязненные подземные воды от водозаборов или из дренажных скважин, оттягивающих эти воды от водозаборов и очищающих водоносные пласты от ранее образовавшихся очагов загрязнения. В настоящее время из-за сложности расчеты происходящих процессов: диффузии, гидравлической дисперсии, сорбции и десорбции, ионного обмена, растворения и кристаллизации и других методов прогноза гидрохимического режима подземных водозаборов – разработаны недостаточно полно. При прогнозе химического состава воды, извлекаемой из водозаборов, расположенных у водоемов: озер, рек, водохранилищ, загрязняемых постоянно и периодически промышленными и бытовыми сточными водами, можно использовать решения, учитывающие гидродинамическую дисперсию на границе раздела двух жидкостей. Рассмотрим задачу действия прямолинейного водозабора, расположенного в полуограниченном пласте на расстоянии l_1 от источника (река, водоем, хранилище промышленных стоков) постоянного или периодического загрязнения различными растворенными солями. Дебит водозабора q_0 (погонный) складывается из дебита подземных вод с переменной во времени концентрацией растворенных солей $C(t)$, поступающих со стороны водоема (q_1), и дебита подземных вод с постоянной концентрацией C_2 , поступающих со стороны водораздела (q_2). Примем, что в процессе фильтрации промышленных стоков происходит равновесная сорбция загрязнений, содержащихся в подземных водах, причем изотерма сорбции считается линейной (по Генри).

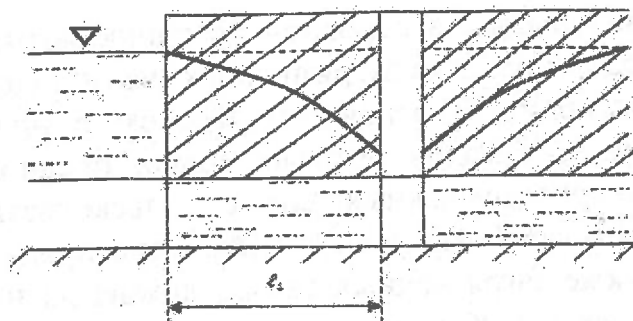


Рис.1. Схема действия линейного водозабора в полуограниченном пласте

Извлекаемую из водозабора концентрацию растворенных веществ в воде можно определить по формуле смещения растворов (см. рис. 1).

$$C_0(\ell_1 t) = \frac{q_1 C(\ell_1, t) + q_2 C_\ell}{q_0}; \quad q_{1,2} = v_{1,2} \cdot M_1 \quad (1)$$

где v_1, v_2 - скорости фильтрации в зонах 1 ($0 \leq x \leq \ell_1$) и в зонах 2 ($x > \ell_1$); M - мощность водоносного пласта. Нам требуется найти $C(x, t)$, q_1 и q_2 .

Таким образом, загрязнение источника (реки) может произойти после ввода в действие водозабора или до этого. В первом случае требуется определить начало загрязнения водозабора и последующие изменения химического состава воды в нем. Во втором случае определяется расстояние от водозабора до источника загрязнения (реки), при котором концентрация загрязняющих веществ в водозаборе не превысит предельно допустимой величины (П.Д.В). На основании решения дифференциального уравнения конвективной диффузии

$$\lambda v \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{\partial C}{\partial x} = m \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (2)$$

можно вычислить концентрацию $C(x, t)$, здесь λ - коэффициент дисперсии, а скорость v определяется из решения конкретной гидродинамической задачи.

В зависимости от гидрохимического режима в водоеме, обусловленного условиями сброса промышленных сточных вод, концентрация на границе (у водоема) может изменяться различным образом. Скачкообразное изменение (повышение) концентрации в момент времени $t = 0$ от C_1 до величины C_0 с последующим сохранением этой концентрации весь расчетный период $0 \leq t \leq \infty$ будет одним из простейших. Иногда это изменение может быть представлено в виде некоторой периодической функции. Задача существенно упрощается, если в условиях установившегося или квазистационарного режима скорость фильтрации принять за $v = \text{const}$.

I. Для решения уравнения (2) предположим, что оно имеет вид

$$C(x, t) = f_0(t) \cdot f(\xi), \quad \text{где} \quad \xi = x - at. \quad (3)$$

Определяя частные производные и подставляя в исследуемое уравнение (2), имеем следующее выражение: $v\lambda f_0 f'' - v f_0 f' = m f_0' f - m a f_0 f'$.

Разделяя на $f_0(t) = \exp kt$, получим обыкновенное дифференциальное уравнение, которого запишется

$$\lambda v f'' + (ma - v)f' - mkf = 0, \quad (4)$$

где корни характеристического уравнения имеют вид

$$\alpha_{1,2} = \left[-(ma-v) \pm \sqrt{(ma-v)^2 + 4\lambda v m k} \right] / 2\lambda v.$$

а. При $D > 0$, $k = \frac{v}{m}$, $a = \frac{\lambda v}{m}$, $\alpha_1 = \frac{1}{\lambda}$, $\alpha_2 = -\frac{mk}{v}$,

имеем решение $C(x,t) = \exp \frac{v}{m} t \cdot \left[c_1 \exp \frac{\xi}{\lambda} + c_2 \exp(-\xi) \right]$, $\xi = x - \frac{\lambda v}{m} t$. (5)

б. При $D = 0$, $k = \frac{v}{4\lambda m}$, $a = \frac{2v}{m}$, $\alpha_{1,2} = \frac{v-ma}{2\lambda m}$,

получим $C(x,t) = \exp \frac{v}{4\lambda m} t \cdot \left[c_1 + c_2 \exp(-\frac{\xi}{2\lambda}) \right]$, $\xi = vx - \frac{2v}{m} t$, (6)

в. При $D < 0$, $k = -\frac{5(ma-v)^2}{4\lambda v m}$, $a = \frac{3}{m}$, $\alpha_{1,2} = -\frac{1}{\lambda} \pm \frac{2}{\lambda} i$, получим решение

$$C(x,t) = \exp(-\frac{5v}{\lambda m} t) \cdot \exp(-\frac{\xi}{\lambda}) \left[c_1 \cos \frac{2\xi}{\lambda} + c_2 \sin \frac{2\xi}{\lambda} \right], \quad \xi = x - \frac{3v}{m} t. \quad (7)$$

II. Для решения уравнения (3) предложим другой метод

$$C(x,t) = f_1(t) \cdot f(\xi), \quad \text{где} \quad \xi = x - at. \quad (8)$$

Здесь, также определяя частные производные и поставляя в (2), получим выражение

$$\lambda v (f_1'' f + 2f_1' f' + f_1 f'') - v (f_1' f + f_1 f') + am f_1 f' = 0. \quad (9)$$

Разделяя на $f_1(x) = \exp nx$, получим следующее уравнение:

$$\lambda v f'' + (2\lambda v n - v + am) f' + (\lambda v n^2 - vn) f = 0. \quad (10)$$

Его характеристическое уравнение записывается /3/

$$\lambda v \alpha^2 + (2\lambda v n - v + am) \alpha + (\lambda v n^2 - vn) = 0. \quad (11)$$

а. При $D > 0$, $n = \frac{1}{\lambda}$, $a = \frac{v}{m}$, $\alpha_1 = \frac{2}{\lambda}$, $\alpha_2 = 0$,

имеем следующее решение

$$C(x,t) = \exp \frac{x}{\lambda} \left[c_1 \exp \frac{2}{\lambda} \xi + c_2 \right], \quad \xi = x - \frac{v}{m} t \quad (12)$$

б. При $D=0$, $n = \frac{1}{\lambda}$, $a = -\frac{v}{m}$, имеем решение

$$C(x,t) = \exp \frac{x}{\lambda} \cdot \left[c_1 \exp \frac{1}{\lambda} \xi + c_2 \right], \quad \xi = x + \frac{v}{m} t, \quad (13)$$

в. При $D < 0$, $a = \frac{v}{m}$, $n = \frac{1}{\lambda}$, получим решение в виде

$$C(x,t) = \exp(-\frac{x}{\lambda}) \cdot \exp(-\frac{\xi}{\lambda}) \left[c_1 \cos \frac{\xi}{\lambda} + c_2 \sin \frac{\xi}{\lambda} \right], \quad \xi = x - \frac{v}{m} t. \quad (14)$$

Таким образом, здесь получены два вида решения уравнения (2) как (3, 8), а именно в виде плоской волны и обратной плоской волны с модификациями.

III. Рассмотрим еще одно решение записанное в форме

$$c(x,t) = f_0(t) \cdot f(\xi), \quad \text{где} \quad \xi = \frac{ax^2 + bxt + ct^2}{t}. \quad (15)$$

Необходимые частные производные имеют вид

$$\xi_x = 2axt^{-1} + b, \quad \xi_t = -ax^2t^{-2} + c, \quad c_t = f'_0 f + f_0 f' (-ax^2t^{-2} + c),$$

$$c_x = f_0 f' (2axt^{-1} + b), \quad c_{xx} = f_0 f'' (4a^2x^2t^{-2} + 4abxt^{-1} + b^2) + 2at^{-1}f_0 f'.$$

Подставляя их в уравнение (2), получим

$$v\lambda f_0 f'' \frac{(4a^2x^2 + 4abxt + b^2t^2)}{t^2} - v f_0 f' \frac{(2axt + bt^2)}{t^2} - m f_0' f -$$

$$- m f_0 f' \frac{(-ax^2 + ct^2)}{t^2} + \frac{2a}{t} f_0 f' \cdot \lambda v = 0. \quad (16)$$

Последнее выражение запишется в виде обыкновенного дифференциального уравнения, если $f_0(t) = \frac{1}{t}$, а из соотношений:

$$1. 4a^2\lambda v = -am, \quad 2. 4ab\lambda v = 2av, \quad 3. b^2\lambda v = (bv + cm),$$

$$\text{определяем коэффициенты} \quad a = -\frac{m}{4\lambda v}, \quad b = \frac{1}{2\lambda}, \quad c = -\frac{v}{4\lambda m},$$

в этом случае, выражение (16) запишется в виде вырожденного гипергеометрического уравнения Гаусса /3/

$$\xi f'' + \left[-\frac{m}{2} - \xi\right] f' + mf = 0. \quad (17)$$

Решение этого уравнения имеет вид /3/

$$C(x,t) = \frac{1}{t} [c_1 F\left(-m, -\frac{m}{2}, \xi\right) + c_2 \xi^{1+\frac{m}{2}} \cdot F\left(\frac{2-m}{2}, \frac{4-m}{2}, \xi\right)]. \quad (18)$$

Это решение табулировано, представлено с помощью ряда, сходящегося при всех значениях ξ . Заметим, что переменная ξ имеет вид

$$\xi = \left[-\frac{m}{4\lambda v}x^2 + \frac{1}{2\lambda}xt - \frac{v}{4\lambda m}t^2\right]/t = -\frac{1}{4\lambda v m} \frac{(mx - vt)^2}{t}. \quad (19)$$

Как известно, во многих водоемах: водохранилищах, озерах, прудах, используемых для водоснабжения, орошения и обводнения, может быть загрязнение, засоление воды, вызванное накоплением солей вследствие сброса в водоемы сточных вод и поступления в них минерализованных подземных вод. Рассмотрим определенные режимы водоема, имеющие вытянутую форму и используемые для постоянного и периодического сброса промышленных сточных вод /1/. Считается, что растворенные в водоеме соли равномерно распределяются по всей ширине водоема l и потому концентрация солей в данном сечении водоема C_* всюду одинакова. Пусть водоем имеет водоносную толщу грунтов мощностью M , и за счет выпадающих рек, атмосферных осадков, сброса сточных вод и других источников в водоем наступает массовый расход солей на единицу длины водоема Q_2 , а за счет рек, вытекающих из водоема, испарения с водной поверхности и других факторов из водоема вытекает

расход солей Q_1 . А его разность $Q = Q_2 - Q_1$ (г/с.см) будет равна удельному расходу солей, поступающих в водоем ($Q > 0$) или выходящих из него ($Q < 0$) за счет поверхностных вод. Допустим, что водоем питается из напорного водоносного пласта одинаковой мощности или сам подпитывает этот пласт.

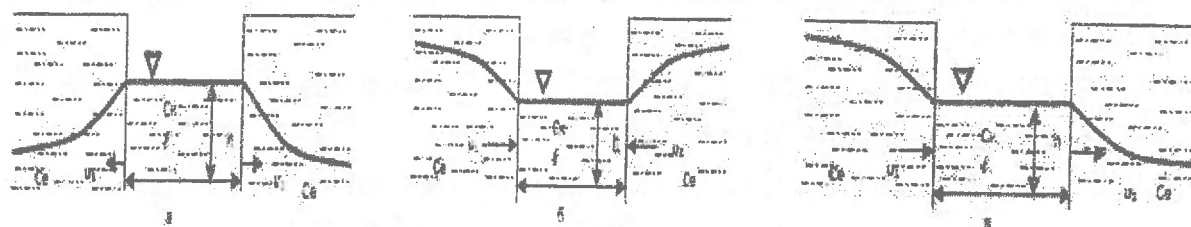


Рис. 2. Схема к расчету гидрохимического режима водоемов

Считается, что пласт изолирован от атмосферы и других водоносных горизонтов водоупорами, а фильтрация в нем является установившейся и постоянной. Величина $Q_0 = CM(v_1 + v_2)$ равна удельному расходу солей выходящих из водоема или поступающих в него.

Рассматривается случай, когда солевой обмен с подземным стоком Q_0 составляет значительную долю от солевого обмена с поверхностными водами Q ($Q_0 > 0,2Q$). Причем начальная концентрация солей в водоносном пласте на обоих берегах водоема одинакова и равна C_g , а начальная концентрация солей в водоеме C_0 .

Для прогноза солевого состава воды в водоеме рассмотрим одномерную задачу конвективной диффузии и сорбции солей в потоках подземных вод, поступающих в водоем или вытекающих из него. Выделим элемент водоема единичной длины и будем считать, что справа и слева от него имеются полуограниченные потоки подземных вод с постоянными скоростями фильтрации v_1 и v_2 (рис. 2.). Движение веществ, растворенных и эмульгированных в подземной воде, описывается в случае неравновесной сорбции уравнениями /2,4/ при $\alpha = 0$:

$$\begin{cases} m_0 \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial(vC)}{\partial x} - \frac{\partial N_1}{\partial t} \\ \frac{\partial N_1}{\partial t} = -\beta m_0 C \end{cases} \quad (20)$$

Рассмотрим задачу в случае не равновесной сорбции при $\alpha \leq 0$ для водоема, прорезающего неограниченный водоносный пласт.

Начальные условия и условия на внешних границах потока ($x = \pm \infty$) запишем в следующем виде:

$$C_{1,2}(x, 0) = C_{1,2}(\pm \infty, t) = C_f = \text{const.} \quad (21)$$

Итак, систему уравнений (20-21) запишем в виде /2/

$$m \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial(vC)}{\partial x} + \beta m C, \quad (22)$$

а с введением новых переменных $\tau = \frac{v^2}{Dm} t$, $\bar{x} = \frac{v}{D} x$, $p = \frac{\beta m D}{v^2}$,

исходное уравнение (22) примет вид

$$C_\tau = C_{xx} - C_x - pC. \quad (23)$$

Для решения данного уравнения целесообразно ввести новую функцию

$$C(x, \tau) = \exp \xi \cdot \theta(x, \tau), \quad \text{где } \xi = ax + b\tau, \quad (24)$$

причем определяя $C_\tau = b \exp \xi \cdot \theta + \exp \xi \cdot \theta_\tau$, $C_x = a \exp \xi \cdot \theta + \exp \xi \cdot \theta_x$,

$$C_{xx} = a^2 \exp \xi \cdot \theta + 2a \exp \xi \cdot \theta_x + \exp \xi \cdot \theta_{xx},$$

подставляя в уравнение (23), после некоторых преобразований, имеем

$$\theta_\tau = \theta_{xx}, \quad \text{где } a = \frac{1}{2}, \quad b = \frac{4p-1}{4}, \quad \xi = \frac{2x - (4p-1)\tau}{4}. \quad (25)$$

Решение уравнения (25) будем искать в форме

$$\theta(x, \tau) = f(\eta) + f_0(\tau) \cdot f_1(x), \quad \eta = x - \eta\tau. \quad (26)$$

Определяя частные производные, подставляя в уравнение (25), имеем систему из двух уравнений, при этом вынуждены признать, что $f_0(\tau) = \exp k\tau$.

$$1. f'' + \eta f' = 0 \quad 2. f_1'' - k f_1 = 0. \quad (27)$$

Эти уравнения имеют решения, соответственно

$$f(\eta) = c_1 \exp(-\eta\eta) + c_2, \quad f_1(x) = c_3 \exp \sqrt{kx} + c_4 \exp(-\sqrt{kx}). \quad (28)$$

Таким образом, новая введенная функция имеет следующий вид:

$$\theta(x, \tau) = c_1 \exp(-\eta\eta) + c_2 + \exp k\tau \cdot [c_3 \exp \sqrt{kx} + c_4 \exp(-\sqrt{kx})]. \quad (29)$$

А с учетом выражения (24) окончательно имеем

$$C(x, \tau) = \exp \xi \cdot \{c_1 \exp(-\eta\eta) + c_2 + \exp k\tau [c_3 \exp \sqrt{kx} + c_4 \exp(-\sqrt{kx})]\}. \quad (30)$$

Это решение является более общим, чем в /1,2,4/.

Для решения этой задачи составляется баланс солей в водоеме с учетом их поступления и выхода из водоема вследствие фильтрации, диффузии притока и оттока поверхностных вод и других факторов /1/.

Изменение массы солей на единицу длины водоема за время t , равное P г/см с, можно выразить следующим образом:

$$P = M\ell (C_0 - C_*) / t_c, \quad (31)$$

где C_0 — начальная концентрация солей в водоеме при $t = 0$, $C_*(t)$ — концентрация после разового сброса сточной воды в момент времени t , ℓ — ширина водоема, t_c — продолжительность сброса. Масса солей, поступающих в водоем ($P < 0$) или выходящих из него ($P > 0$), на единицу длины водоема будет

$$P_s = \int_0^{t_c} P(t) dt. \quad (32)$$

Здесь везде концентрация солей в водоеме $C_* > C_{1,2}$, а индексы 1 и 2 относятся к правой и левой границами водоема. Баланс солей в водоеме с учетом их поступления в водоем и выхода из него вследствие фильтрации,

диффузии, а также притока и оттока поверхностных вод выражается таким образом:

I. Когда фильтрационный поток направлен в берега, имеет вид рис. 2, а

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{-b}^b C_*(x,t) dx = P \cdot \left[v_2 C_2(-b_1 t) - D_2 \frac{\partial C_2(-b_1 t)}{\partial x} \right] - \left[v_1 C_1(b_1 t) - D_1 \frac{\partial C_1(b_1 t)}{\partial x} \right]. \quad (33)$$

II. Когда фильтрационный поток направлен к водоему, то (рис. 2, б)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{-b}^b C_*(x,t) dx = P + \left[v_2 C_2(-b_1 t) - D_2 \frac{\partial C_2(-b_1 t)}{\partial x} \right] + \left[v_1 C_1(b_1 t) - D_1 \frac{\partial C_1(b_1 t)}{\partial x} \right]. \quad (34)$$

III. Когда с левой границы фильтрационный поток поступает в водоем, а с правой выходит из нее, получим (рис. 2, в)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{-b}^b C_*(x,t) dx = P + \left[v_2 C_2(-b_1 t) - D_2 \frac{\partial C_2(-b_1 t)}{\partial x} \right] - \left[v_1 C_1(b_1 t) - D_1 \frac{\partial C_1(b_1 t)}{\partial x} \right]. \quad (35)$$

В случае, когда концентрация солей в водоеме не зависит от x и является функцией времени, то выражение в левых частях уравнений (33-35)

запишется $\frac{\partial}{\partial t} \int_{-b}^b C_*(x,t) dx = l \frac{\partial C_*}{\partial t}$. В грунтовом потоке расход солей $-D \frac{\partial C_*(x,t)}{\partial x} = 0$ — величина конечная. Концентрация солей в водоеме C_*

одинакова от точки к точке, то $\frac{\partial C_*}{\partial t} = 0$, и C_* не зависит от x , а поэтому диффузионный расход в водоеме будет конечным при условии $D_* \rightarrow \infty$. Это возможно при наличии в водоеме турбулентных течений и температурной конвекции, которые вызывают весьма быстрое выравнивание концентрации растворенных веществ.

Список литературы

1. Samuelson O. От dynamiska jamviktslaget vidfilterav, jonntbyande amnev. vensk. kem. tidskr. v.53, №11, 1941
2. Веригин Н.Н., Саркисян В.С. О прогнозе качества воды в береговых водозаборах // Водные ресурсы. — 1975. — № 1.
3. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. — М.: Наука, 1976. — 576 с.
4. Капранов Ю.И. О некоторых точных решениях в задачах рассоления грунтов // Изв. АН. СССР, МЖГ. — 1972. — № 1.
5. Шестаков В.М. К теории фильтрации растворов в грунтах // Вопросы формирования химического состава подземных вод. — М.: Изд-во МГУ, 1963.

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВОГРУНТОВ

В настоящее время мелиорация (промывка) засоленных почвогрунтов занимает одно из важных мест в орошении засоленных или подверженных засолению земель. Естественно, при проведении мелиорации встречаются чаще всего связные почвогрунты: суглинки, супеси, глины и другие, которые сильно неоднородны в фильтрационном отношении. Здесь наряду с проточными порами – макропорами, которые являются основными проводниками солей при промывках, большой объем порового пространства занимают менее активные в гидродинамическом отношении зоны: микропоры и тупиково-застойные зоны, несущие в себе значительный запас солей. Между этими двумя системами происходит постоянный солеобмен, в основном, через молекулярную диффузию, и ионный обмен.

Понятно, что из проточных пор грунта соли вымываются промывной водой сравнительно быстро и легко. Соли же тупиково-застойных зон и соли, сорбированные скелетом грунта, удаляются медленно, попадая в фильтрующийся поток за счет молекулярной диффузии. Опытные промывки мелкоземных почвогрунтов показывают, что в начале промывки идет интенсивный вынос солей, причем концентрация фильтрата на выходе высокая, в дальнейшем вынос солей резко замедляется. Это свидетельствует об исчерпании запасов солей в проточном поровом объеме грунта и о вступлении в опреснение тупиково-застойных зон. Удаление же солей из них связано с затратой значительных количеств промывных вод.

Значительный учет неоднородностей пористой среды и сорбционных процессов позволяет получить основные закономерности перераспределения солей в почвогрунтах, близкие к реальным, но чрезвычайно усложняет механико-математическое описание миграции солей. Поэтому представляет важность получение достаточно простых решений, пригодных для практического использования.

В наше время уже получен ряд решений одномерных математических моделей движения воды и солей в почвогрунтах, учитывающих с некоторыми приближениями, допущениями реальные условия мелиорации засоленных земель.

Внедрение численных решений в мелиоративные задачи позволяет освободиться от ряда упрощений и допущений, принимаемых при аналитическом решении задач. Создаются возможности полнее учесть природные условия и влияние отдельных членов дифференциальных уравнений в частных производных и начально-краевых условий на процесс переноса солей в грунтах. Описываются не только способом получения количественных характеристик, но и методом установления закономерности изучаемого процесса.

Рассмотрим уравнение, выражающее баланс солей в элементарном объеме среды и уравнение кинетики обмена:

$$m \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial N}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \beta(\alpha N - mC), \quad (0 \leq x \leq L) \quad (2)$$

при следующих начально-краевых условиях:

$$C(x, 0) = C_0(x), \quad N(x, 0) = N_0 \quad (3)$$

$$[C(0, t) - C_n]V = D \frac{\partial C(0, t)}{\partial x}; \quad \frac{\partial C(L, t)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

где обозначено: $C(x, t)$, C_0 , C_n — соответственно концентрации солей в подвижной фазе в точке с координатой x в момент времени t , в начальный момент самой промывной воды, г/л; N — весовое количество солей в неподвижной фазе (находящихся в тупиково-застойных зонах грунта и сорбированных почвенными частицами), отнесенное к единице объема грунта, кг/м³; D — коэффициент дисперсии раствора, м²/сут, ($D = D_m + \lambda V$), где D_m — коэффициент молекулярной диффузии; λ — параметр дисперсии (рассеивания); V — скорость фильтрации, м/сут; L — мощность покровной толщи, м; m — пористость (в долях объема грунта); β — коэффициент скорости обмена между раствором проточных пор и остальной средой, $\frac{1}{\text{сут}}$; α — коэффициент распределения; ось x направлена вертикально вниз, начало выбрано на поверхности почвы.

Первое условие (4) выражает баланс солей во входном сечении потока. Второе условие — пренебрежение обратным диффузионным переносом солей в пласт, которое ставится на выходном сечении потока ($x=L$) при истечении фильтрата в атмосферу или в хорошо проницаемый слой (дренаж) и на бесконечном удалении ($L \rightarrow \infty$) в случае полуограниченной толщи.

Рассматривается процесс переноса солей с момента насыщения зоны аэрации промывной водой, считая, что к этому времени все легкорастворимые соли уже растворились. И еще считаем, что все параметры α , β , D — известные опытные величины и, переходя к безразмерным величинам, вместо (1-4) имеем

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{D(\tau)}{LV_0} \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x'^2} - \frac{V(\tau)}{V_0} \frac{\partial \theta}{\partial x'} - \frac{x_2}{\alpha} \frac{\partial \bar{N}}{\partial \tau}, \quad (1')$$

$$\frac{\partial \bar{N}}{\partial \tau} = \frac{B(C_{00} - C_n)}{N_{00}} (x_2 \bar{N} - x_1 - \theta) \quad (2')$$

$$\theta_0(x', 0) = \frac{C(x', 0) - C_n}{C_{00} - C_n}, \quad \bar{N}(x', 0) = \frac{N_0(x')}{N_{00}} \quad (3')$$

$$\theta(0, \tau) = \frac{D(\tau)}{LV(\tau)} \frac{\partial \theta(0, \tau)}{\partial x}, \quad \frac{\partial \theta(L, \tau)}{\partial x'} = 0 \quad (4')$$

где введены безразмерные величины:

$$\theta = \frac{C - C_n}{C_{00} - C_n}, \quad \bar{N} = \frac{N(x', \tau)}{N_{00}}, \quad x' = \frac{x}{L}, \quad B = \frac{BLn^2}{V_0}, \quad \tau = \frac{V_0 t}{nL},$$

$$nx_1 = \frac{C - C_n}{C_{00} - C_n}, \quad x_2 = \frac{LN_{00}}{C_{00} - C_n};$$

C_{00} , N_{00} , V_0 — характерные величины в данной задаче и могут иметь максимальные значения соответственно величин $C(x,0)$, $N(x,0)$, $V(t)$.

Данная задача решена численно при расчете изменения солевого режима в покровной зоне — толще, при следующих данных:

$D=0,025 \text{ м}^2/\text{сут}$; $V=V_0=0,02 \text{ м/сут}$; $L=10 \text{ м}$; $C_{00}=C_0=100 \text{ г/л}$; $C_n=1 \text{ г/л}$; $n=0,25$; $P_e = \frac{VL}{D} = 8$ для каждого из 10 значений B : 0; 0,0078; 0,078; 0,78; 3,12; 7,8; 15,6; 78; 780; 7800 1/сут. при трех значениях α : 0,5; 1 и 5.

Здесь предполагалось, что в начале полива-промывки в толще было равновесное состояние солей обеих фаз, то есть выполнялось условие $\alpha N_0 = nC_0$, где N_0 — общее количество солей как сорбированных скелетом грунта, так и находящихся в тупиково-застойных зонах.

На рис. 1 показаны кривые распределения θ и $\bar{N}$ по толще грунта для момента $t=10$ сут. после начала полива при пяти значениях B : 0,0078; 0,078; 0,78; 7,8; 78,0 1/сут. При $B > 7,8$ изменения θ и $\bar{N}$ незначительны по сравнению со случаем $B=7,8$.

Анализ решений показал, что при критерии обмена $B = \frac{\beta L n^2}{V} \geq 7,8$ вскоре значения θ и $\bar{N}$ мало отличаются друг от друга ($\theta \approx \bar{N}$), то есть в почвогрунте устанавливается равновесный солевой режим обмена, характеризуемый изотермой обмена $N\alpha = nC$. В этом случае влиянием кинетики обмена можно пренебречь, и задача сводится к решению одного уравнения конвективной диффузии:

$$m_3 \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x}, \quad (0 \leq x \leq L) \quad (5)$$

для некоторой сглаженной однородной и не сорбирующей среды с эффективной пористостью $m_3 = \frac{\alpha+1}{\alpha} n$. Присутствие эффективной пористости приводит к замедлению и растягиванию процесса перераспределения концентрации солей в толще, она в данном случае учитывает влияние десорбции и вынос солей из тупиково-застойных зон грунта.

Были проведены расчеты решения уравнения (5) при $n_3=0,75$; 0,5; 0,3, при значениях $\alpha = 0,5$; 1; 5. Найденные значения с большой точностью (до 1-4 %) совпадают с соответствующими значениями концентраций, полученными ранее из решения (1-2) для $B \geq 7,8$.

Решения уравнения (5) могут быть получены при различных начальных и граничных условиях. Они будут давать разные закономерности изменения искомой функции C от x и t .

Математическая постановка задачи должна по возможности более или менее соответствовать физической картине изучаемого процесса. Для практических расчетов солевого режима могут быть использованы

приближенные решения, имеющие более простой вид и обладающие достаточной точностью.

Наиболее простые решения конвективной диффузии (5) получаются для полуограниченной толщи грунта при краевых условиях I-го или III-го рода на поверхности почвы

$$C(0,t) = C_n \text{ или } C(0,t) - C_n = \frac{D}{V} \frac{\partial C(0,t)}{\partial x} \quad (6)$$

и I-го и II-го рода на бесконечности

$$C(\infty,t) = C_0 \text{ или } \frac{\partial C(\infty,t)}{\partial x} = 0. \quad (7)$$

Если в уравнение (5) ввести новые независимые переменные в виде

$$\tau \Rightarrow \frac{V^2}{Dm_2} t, \quad x \Rightarrow \frac{V}{D} x, \quad \text{то получим } C_\tau = C_{xx} - C_x. \quad (8)$$

I. Если решение уравнения (8) искать в форме

$$C(x,\tau) = f(\xi), \quad \text{где } \xi = ax - b\tau - \text{плоская волна,} \quad (9)$$

то получим решение в общем виде

$$C(x,\tau) = C_1 \exp \alpha_1 \xi + C_2, \quad \alpha_1 = (a+b)/a^2 \quad (10)$$

II. Предположим, что решение имеет форму

$$C(x,\tau) = f(\eta), \quad \text{где } \eta = \frac{ax+b\tau}{\tau^{1/2}}. \quad (11)$$

Тогда, определяя все необходимые частные производные и подставляя в (8), имеем следующее уравнение:

$$2a^2 f'' + \eta f' = 0, \quad a = -b = \frac{1}{2}, \quad \eta = \frac{x-\tau}{2\tau^{1/2}}. \quad (12)$$

Дважды интегрируя, получим интеграл ошибок

$$f(\eta) = C_1 \int_0^\eta e^{-\eta^2} d\eta + C_2 = C_2 + C_3 \Phi(\eta) = C_2 + C_3 \operatorname{erf} \eta, \quad C_3 = \sqrt{\pi} C_1, \quad (13)$$

где $\operatorname{erf} \eta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-\eta^2} d\eta$ – интеграл ошибок, $\operatorname{erfc} \eta = 1 - \operatorname{erf} \eta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_\eta^\infty e^{-\eta^2} d\eta$ – дополнительная функция ошибок.

Найдем постоянные интегрирования следующим путем.

При $\tau = 0$, $\eta \rightarrow \infty$ т.е. $C_2 + C_3 = C_n$, при $x=0$, $\eta \rightarrow 0$ т.е. $C_2 = C_0$. Отсюда, из этой системы, находим: $C_3 = C_n - C_0$, $C_2 = C_0$.

$$C(x,\tau) = C_0 + (C_n - C_0) \operatorname{erf} \eta = C_0 + (C_n - C_0) \Phi(\eta)$$

Таким образом, решена начально-краевая задача и определены постоянные интегрирования.

III. Пусть решение уравнения (8) имеет форму

$$C(x,\tau) = f_0(\tau) f(\eta), \quad \text{где } \eta = \frac{ax+b\tau}{\tau^{1/2}}. \quad (14)$$

Здесь также определяем все необходимые частные производные и подставляем их в искомое уравнение (8):

$$-\frac{1}{2} \left(\frac{ax+b\tau}{\tau^{3/2}} \right) f' f_0 = \frac{a^2}{\tau} f_0 f'' - \frac{a}{\tau^{1/2}} f_0 f' - f_0' f.$$

Последнее выражение становится обыкновенным дифференциальным уравнением, если $f_0(\tau) = \tau^{1/2}$ и $b=a$.

$$2a^2 f'' + \eta f' + f = 0 \quad k=1/2a^2, \quad f'' + k\eta f' + kf = 0, \quad (15)$$

его решением будет [k]

$$f(\eta) = \tau^{-1/2} \exp(-\eta^2/4a^2) F\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{\eta^2}{4a^2}\right), \quad (16)$$

а с учетом (14) функция $C(x, \tau)$ примет вид

$$C(x, \tau) = \frac{1}{(a\tau)^{1/2}} \left(\frac{\tau^{1/2}}{x-\tau}\right)^{1/2} \cdot \exp\left(-\frac{1}{4a^2} \left(\frac{\tau^{1/2}}{x-\tau}\right)^2\right) F\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{(x-\tau)^2}{\tau}\right). \quad (17)$$

Это решение также является новым аналитическим решением уравнения (8), и оно пригодно для расчета солевого режима для полуограниченной толщи грунта.

IV. Следующее решения уравнения (8) можно найти в форме

$$C(x, \tau) = f_1(\eta_1) + f_0(\tau)f_2(\eta_2), \quad \text{где } \eta_{1,2} = \frac{a(x \mp \tau)}{\tau^{1/2}}. \quad (18)$$

Определяя все необходимые частные производные независимых переменных и искомых функций

$$\eta_{1,2x} = a\tau^{-1/2}, \quad \eta_{1,2\tau} = -\frac{1}{2}a\tau^{-3/2} \mp \frac{1}{2}a\tau^{-1/2},$$

$$C_x = a\tau^{-1/2}f_1' + f_0f_2' a\tau^{-1/2},$$

$$C_{xx} = a^2\tau^{-1}f_1'' + f_0f_2'' a^2\tau^{-1},$$

$$C_\tau = \left(-\frac{1}{2}a\tau^{-\frac{3}{2}} - \frac{1}{2}a\tau^{-\frac{1}{2}}\right)f_1' + f_0'f_2 + \left(-\frac{1}{2}a\tau^{-\frac{3}{2}} + \frac{1}{2}a\tau^{-\frac{1}{2}}\right)f_0f_2'$$

и подставляя в уравнение (8), получим следующее выражение:

$$-\frac{1}{2}f_1' \left(\frac{a\tau(a-2a)\tau}{\tau^{\frac{3}{2}}}\right) - \frac{1}{2}f_1' \left(\frac{a\tau(a-2a)\tau}{\tau^{\frac{3}{2}}}\right)f_2 = \frac{a^2}{\tau}f_1'' + \frac{a^2}{\tau}f_0f_2'' - f_0'f_2$$

или систему из двух дифференциальных уравнений при $f_0(\tau) = 1/\tau$:

$$1. \quad 2a^2 f_1'' + \eta_1 f_1' = 0. \quad 2. \quad 2a^2 f_2'' + \eta_2 f_2' + f_2 = 0. \quad (19)$$

Выше указано решение каждого уравнения, поэтому запишем его общее решение

$$C(x, \tau) = C_2 + C_3 \Phi(\eta_1) + C_4 \sqrt{\frac{2}{\tau(x+\tau)}} \exp\left(-\frac{2\tau^{1/2}}{x+\tau}\right) F\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{(x+\tau)^2}{\tau}\right), \quad (20)$$

где

$$\Phi(\eta_1) = \operatorname{erf}\eta_1 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\eta_1} e^{-\eta^2} d\eta, \quad \operatorname{erfc}\eta_1 = 1 - \operatorname{erf}\eta_1 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\eta_1}^{\infty} e^{-u^2} du, \quad (21)$$

$$\operatorname{erf}(-\eta_1) = -\operatorname{erf}\eta_1, \quad \operatorname{erfc}(-\eta_1) = 1 + \operatorname{erf}\eta_1 = 2 - \operatorname{erfc}\eta_1. \quad (22)$$

Функция $\operatorname{erf}\eta_1$ разлагается в ряд

$$\operatorname{erf}\eta_1 \sim \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\eta_1 - \frac{\eta_1^3}{1!3} + \frac{\eta_1^5}{2!5} - \frac{\eta_1^7}{3!7} + \dots \right).$$

При больших значениях аргумента η_1 для дополнительной функции ошибок $\operatorname{erfc}\eta_1$ справедливо следующее асимптотическое ее представление

$$\operatorname{erf} \eta_1 \sim \frac{e^{-\eta_1^2}}{\sqrt{\pi} \eta_1} \left(1 - \frac{1}{2\eta_1^2} + \frac{1 \cdot 3}{(2\eta_1^2)^2} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{(2\eta_1^2)^3} + \dots \right). \quad (23)$$

Причем для них верны следующие соотношения: $\int_0^\infty e^{-\eta_1^2} d\eta_1 = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$,
 $\operatorname{erf} 0=0$, $\operatorname{erf} \infty=1$, $\operatorname{erfc} 0=1$, $\operatorname{erfc} \infty=0$. (24)

Полученное общее решение (20) является новым, и оно также пригодно для расчета солевого режима в почвогрунте.

V. Наиболее интересное решение для уравнения (8) имеет вид

$$C(x, \tau) = f_1(\eta_1) + f_3(x) \cdot f_2(\eta_2) \quad \text{где } \eta_{1,2} = \frac{ax \mp b\tau}{\tau^{1/2}}. \quad (25)$$

Находя нужные частные производные и подставляя в (8), получим
 $\frac{a^2}{\tau} f_1'' + \frac{1}{2} \left(\frac{ax - (b+2a)\tau}{\tau^{3/2}} \right) f_1' = \frac{a^2}{\tau} f_3 f_2'' + \frac{1}{2} f_3 \left(\frac{ax + (b-2a+4na)\tau}{\tau^{3/2}} \right) f_2' +$
 $+(f_3'' - f_3') f_2 = 0.$

Отсюда имеем систему из двух уравнений

$$1. 2a^2 f_1'' + \eta_1 f_1' = 0. \quad 2. \frac{2a^2}{\tau} f_2'' + \frac{\eta}{\tau} f_2' + (n^2 - n) f_2 = 0, \quad f_3(x) = \exp nx, \quad (26)$$

из которых находим искомые функции

$$f_1(\eta_1) = C_1 + C_2 \Phi(\eta_1), \quad f_2(\eta_2) = C_3 + C_4 \Phi(\eta_2), \quad f_3(x) = \exp nx. \quad (27)$$

Таким образом, общее решение уравнения (8) с учетом (25), имеет вид

$$C(x, \tau) = C_1 + C_2 \Phi(\eta_1) + \exp nx [C_3 + C_4 \Phi(\eta_2)] \quad (28)$$

и оно подчиняется условиям первого рода.

Из полученных решений можно сделать заключение, что при достаточно длительных орошениях или промывках расчет солевого режима можно вести исходя из этих решений. Расчеты показывают, что при больших значениях Пекле $Pe = \frac{VL}{D}$ и разных значениях $\tau = \frac{Vt}{mL}$ определяют расчет динамики перераспределения солей в толще грунта при конкретных условиях и с помощью решений () и (28). А фильтрационный поток в почвогрунтах — главный фактор в перераспределении солей в их толще, причем скорость фильтрации обычно изменяется как по времени, так и по протяженности грунта.

Список литературы

1. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в европейской части СССР //Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. — М.: Колос, 1965.
2. Веригин Н.Н., Шержуков Б.С., Шапинская Г.П. К расчету промывания засоленных почв //Труды координационных совещаний по гидротехнике. — Вып. 35. — Л., 1967.
3. Дворкин Л.Б. Конвективная диффузия солей в пористых средах с учетом влияния «тупиковых» пор //Физическая химия. — Т.42. — 1968. — № 4.

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ВЛАГИ В ГРУНТАХ

Оползневые процессы по глубине захвата горного склона разделяются на поверхностные, расположенные в зоне сезонного колебания влажности и температуры грунтов; глубокие оползни, поверхность скольжения которых находятся глубже зоны сезонного колебания влажности и температуры грунтов.

Основным фактором образования оползней поверхностного типа являются атмосферные осадки и талые воды снежников. Глубокие же оползни, в основном, образуются с участием подземных вод. Таким образом, наиболее активным фактором образования оползней являются обильные и затяжные дожди. Значительное влияние на устойчивость рыхлых отложений оказывают подземные воды, колебания их уровней в сторону увеличения, что также вызывает образование оползней.

Вообще говоря, все факторы, обуславливающие возникновение и развитие оползневых явлений, можно разделить на два класса: независимые, или основные и производные. К основным, или независимым классам относятся геологическое строение горных склонов, рельеф местности, сейсмическая активность территории. Производные факторы включают в себя гидрогеологические условия, поверхностный сток воды, растительный и почвенный покров, а также сезонное промерзание и оттаивание горных пород и другие. С точки зрения математики оба класса являются необходимыми и достаточными условиями формирования всех оползневых процессов. При предварительном изучении оползневых процессов можно сделать следующее заключение: определяющими в развитии активизации оползневых явлений являются процессы насыщения основной массы горных пород влагой как за счет подземных (грунтовых) вод, так и за счет выпадения осадков, снеотаяния, поверхностного стока на склонах, которые образуют процесс фильтрации и инфильтрации.

Несколько слов об условиях поступления атмосферных осадков и распределения их на оползневом склоне. На склонах гор снег накапливается неравномерно, он сдувается ветром и в больших количествах оседает в различного рода углублениях, и таяние снегового покрова происходит неравномерно. Распределение дождевых вод также неравномерно и зависит от условий рельефа и способности грунта задерживать или впитывать в себя воду. На крутых склонах вода обычно не задерживается и стекает в пониженные места, где и может образовывать застои и вызывать оползни. В рыхлых грунтах вода задерживается, но влияние этой воды на устойчивость склона зависит от абсолютного количества выпадающих осадков. Еще следует отметить, что вкапывание и рыхление почвы в некоторых случаях могут привести к чрезмерному увлажнению пород и в связи с этим — к нежелательным оползневым явлениям.

Анализ всех приведенных основных факторов возникновения и развития оползней позволяет сделать следующие выводы: для оползневых процессов большое значение имеют гидрогеологические и гидрометеорологические факторы. Мы неизбежно сталкиваемся с динамикой жидкости в оползневых склонах и ее воздействием на устойчивость горных пород и грунтов. Для этой сложной системы «грунт-вода» используются теории и методы гидродинамики, где происходит проникновение влаги в грунт. Естественно, движение жидкости внутри грунта под действием гидрогеологических и гидрометеорологических условий влияет на устойчивость грунтовых массивов, приводит к нарушению их равновесного состояния и потере устойчивости. Все это говорит о том, что на возникновение, развитие, активизацию и механизм движения оползней большое влияние оказывают процессы, связанные с динамикой жидкости в оползневых склонах (колебания уровней подземных вод, процессы фильтрации и инфильтрации воды в горных склонах, влагопереноса). Проблемы и задачи, связанные с гидродинамическими процессами в оползневых склонах, и вопросы устойчивости их против сползания с горных склонов являются важными.

Моделируя различные типы фильтрационных и инфильтрационных течений жидкости в различных средах, при определенных упрощающих физико-механических допущениях, применяя современный математический аппарат, можем дать количественную и качественную оценку происходящих процессов на склонах и получить определенные данные о развитии и активизации оползней. Зная тип и характер исследуемого течения, движения воды в грунтах, можно выбрать для их моделирования уравнение фильтрации и сформулировать дополнительные данные в виде начальных и граничных условий.

Сели – это внезапные горные потоки, обильно насыщенные твердым материалом, возникающие во время дождей, при интенсивном таянии снега, льда, а также при прорыве запруд и плотин в долинах, где имеются большие запасы рыхлообломочного материала. Формирование селей всегда связано с выпадением большого количества жидких осадков или интенсивного снеготаяния. Очаги этой группы селей имеют широкое распространение в нашей республике, к ним приурочено наибольшее число случаев образования селей, которые, как правило, не носят катастрофического характера, но при выходе в крупные водотоки могут сформировать более мощные селевые потоки. Поэтому для выяснения этих процессов, то есть до прорыва потока первоначально нами изучается процесс накопления влаги в грунтах, используя математические модели движения воды в самих грунтах.

Известно, что оползни и сели в горных и в предгорных зонах происходят при насыщении почв и грунтов влагой. Вследствие их тяжести прорыв происходит в наиболее слабых местах. Рассматриваемые вопросы: водоудерживающая способность почв, определяемая условиями гидродинамического равновесия, ее характеристиками, влагообменом и влагопереносом. Это гидромеханическое направление почвенной гидрологии

получило свое развитие в последние годы. Другое направление рассматривает физико-механические свойства почв, характер и интенсивность взаимодействия почвенных частиц. Движение влаги внутри почвы зависит во многом от изменения геометрии порового пространства, занятого водой. Это направление почвенной гидрологии относится к физико-химической механике дисперсных систем. При рассмотрении движения почвенной влаги в набухающих грунтах или при мерзлотном их пучении оба направления почвенной гидрологии объединяются. Уже перечисленные основные направления изучения движения подпочвенных вод и рассматриваемые в них проблемы указывают на то, что поверхностные силы являются основными факторами во всех этих процессах. До определенного момента многие разделы почвенной гидрологии, в какой-то степени, удовлетворяли требованиям практики. Накопленные экспериментальные данные, их обобщения качественного характера позволили выработать определенные приемы для рассматриваемых задач, перехода от качественного описания явлений к развитию количественной теории процессов, к их математическому моделированию, количественных методов прогнозирования, моделированию всего накопительного процесса влаги в почвогрунтах в горных и предгорных зонах.

На сегодняшний день можно сказать, что уже проведены следующие этапы разработки математических моделей почвенно-гидрологических процессов: исследование механизмов проникновения и просачивания влаги внутрь грунта и формализация основных их законов движения; составление общей системы уравнений и выбор ее упрощенного варианта; схематизация изучаемого объекта и математическая постановка краевых задач; определение основных параметров уравнения, моделирующего рассматриваемый объект, и уточнение краевых условий; разработка алгоритмов, программ и решение краевых задач; оценка погрешностей в связи с «огрублением» составленной математической модели; сопоставление результатов расчетов с лабораторными и натурными наблюдениями.

Уже на самых первых этапах моделирования стоят разделы, полностью определяемые уровнем изученности поверхностных сил и явлений. Действительно, основными факторами, определяющими процессы проникновения воды в грунты, заполнения и насыщения их влагой являются силы тяжести воды, действующие на грунт. Понятие о расклинивающем давлении дает основу современной теории уплотнения и набухания почвы и грунтов. Важность этого понятия в том, что вода при малых сдвиговых напряжениях находится в тех пределах, когда отклонения от ньютоновского закона оказываются существенными. В определенных условиях даже самые незначительные, совершенно незаметные движения объемной жидкости могут играть существенную роль при рассмотрении равновесия или движения жидкости через глинистые грунты, оказать существенное влияние на характер самого движения грунтов.

Ниже для исследования инфильтрационных процессов, когда несжимаемая жидкость поступает в грунт или в горные земляные грунты через

их поверхность за счет атмосферных осадков, орошения, полива, сброса сточных вод, поверхностного стока, рассматривается функция влажности или концентрация влаги в одномерном случае. Одним из основных уравнений влагопереноса или движения влаги в ненасыщенных средах с учетом гравитационных сил (сил притяжения) является уравнение вида /1/

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(W) \frac{\partial W}{\partial x} \right] + \frac{\partial K(W)}{\partial x}. \quad (1)$$

Это классическое уравнение, называемое уравнением Фика, описывает одномерную вертикальную инфильтрацию жидкости в грунтах и является нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных. Здесь $W(x, t)$ – неизвестная функция влажности, $D(W)$ и $K(W)$ – коэффициенты диффузии и влагопроводности.

Для решения уравнения (1) поступим следующим образом. Разлагая коэффициенты диффузии и влагопроводности $D(W) = D_0 + D_1 W + \dots$, $K(W) = K_1 + K_2 W + \dots$ и вводя новую функцию

$$\bar{W}(x, y) = D_0 + D_1 W, \quad (2)$$

получим следующее нелинейное уравнение (тильду для удобства отбросим):

$$W_t = W W_{xx} + W_x^2 + K_0 W_x, \quad K_0 = \frac{K_1 D_1}{D_0} \quad (3)$$

1. Решение последнего уравнения ищем в виде

$$W(x, t) = t \cdot f(\eta), \quad \eta = \frac{x}{t}. \quad (4)$$

Определяя необходимые частные производные и подставляя в уравнение (3), получим следующее обыкновенное дифференциальное уравнение

$$f f'' + f'^2 + (\eta + K_0) f' - f = 0. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) найти довольно трудно, тем не менее, его решения можно найти в виде полинома второй степени

$$f(\xi) = C_0 \eta^2 + C_1 \eta + C_2, \quad (6)$$

в результате которого имеем систему уравнений

$$1. \quad 6C_0^2 + C_0 = 0 \quad 2. \quad 3C_1 + K_0 = 0 \quad 3. \quad 2C_0 C_2 + C_1^2 + C_1 K_0 - C_2 = 0.$$

В результате решения этой системы находим два решения

$$f(\eta) = \frac{-1}{6} \eta^2 - \frac{K_0}{3} \eta + \frac{K_0^2}{6}, \quad f(\eta) = K_0 \xi + 2K_0^2, \quad \xi = \frac{x}{t}$$

а с учетом (4) искомые функции запишутся

$$W(x, t) = \left(\frac{-x^2 - 2K_0 x t + K_0^2 t^2}{6t} \right), \quad W(x, t) = K_0 x + 2K_0^2 t. \quad (7)$$

Эти решения могут быть использованы при расчете наполнения грунта водой по глубине и времени, причем величина K_0 играет существенную роль при движении влажности внутри грунта.

2. Решение уравнения (3) ищем в виде

$$W(x, t) = f_0(\xi) \cdot T(t), \quad \xi = \frac{x}{R(t)}. \quad (8)$$

Определяя частные производные $\xi_x = 1/R(t)$, $\xi_t = -\xi \frac{R'}{R}$,

$$W_t = -f_0' \xi \frac{R'}{R} T + f_0 T, \quad W_x = f_0' \frac{T}{R}, \quad W_{xx} = f_0'' \frac{T}{R^2}$$

и подставляя в рассматриваемое уравнение, получим следующее выражение:

$$f_0 f_0'' + f_0'^2 + \frac{R}{T} K_0 f_0' = -\xi f_0' \frac{R'T}{R^2} + f_0 T'. \quad (9)$$

До сих пор величины $T(t)$, $R(t)$ были произвольные функции, поэтому потребуем, чтобы

$$T(t) = \exp nt, \quad R(t) = A \exp nt, \quad (10)$$

тогда выражение (9) переписывается

$$f_0 f_0'' + f_0'^2 + (m\xi + K_0) f_0' - m f_0 = 0, \quad m = nA^2. \quad (11)$$

Если искать решения уравнения (11) в виде полинома второй степени, получим два решения

$$f_0(\xi) = -\frac{m}{6} \xi^2 - \frac{K_0}{3} \xi + \frac{K_0^2}{6m}, \quad f_0(\xi) = K_0 \xi + \frac{K_0^2}{6m}, \quad \xi = \frac{x}{A \exp nt}. \quad (12)$$

А искомые функции влажности примут вид

$$W(x, t) = \frac{-n^2 A^2 x^2 - 2K_0 n A x \exp nt + K_0^2 \exp^2 nt}{6 \exp nt}, \quad (13)$$

$$W(x, t) = \frac{K_0 x}{A} + \frac{K_0^2}{6nA^2} \exp nt, \quad (14)$$

т.е. также зависят от коэффициентов теплопроводности.

III. Если искать решение уравнения (3) в виде плоской волны

$$W(x, t) = f_0(\xi), \quad \xi = x - at, \quad (15)$$

то получим относительно $f_0(\eta)$ обыкновенное нелинейное дифференциальное уравнение вида

$$f_0 f_0'' + f_0'^2 + (K_0 + a) f_0' = 0. \quad (16)$$

Вводя новую функцию $f_0' = P$, $f_0'' = PP'$, получим уравнение, которое после интегрирования запишется, как $f_0' + (a + K_0) = \frac{1}{C_0 f_0}$. Интегрируя

последнее уравнение. еще раз получим

$$f_0(\eta) + \frac{1}{(K_0 + a)C_0} \ln \left| f_0(\eta) - \frac{1}{(a + K_0)C_0} \right| = C_1 - (a + K_0)\eta.$$

Таким образом, функция $W(x, t)$ окончательно примет вид

$$W(x, t) + \frac{1}{(a + K_0)C_0} \ln \left| W(x, t) - \frac{1}{(K_0 + a)C_0} \right| = C_1 - (a + K_0)(x - at), \quad (17)$$

т.е. искомая функция определяется неявно.

IV. Предположим, что решение (3) можно определить в виде

$$W(x, t) = x^2 T_1(t) + x T_2(t) + T_3(t). \quad (18)$$

Определяя частные производные, подставляя в само уравнение, получим следующее выражение:

$$x^2 T_1' + x T_2' + T_3' = 6x^2 T_1^2 + 6x T_1 T_2 + 2 T_1 T_3 + T_2^2 + K_0(2x T_1 + T_2). \quad (19)$$

Собирая члены при одинаковых степенях x , имеем систему из трех уравнений для определения T_1, T_2 и T_3 :

$$\text{а) } T_1' = 6T_1^2, \quad \text{б) } T_2' - 6T_1 T_2 = 2K_0 T_1, \quad \text{в) } T_3' - 2T_1 T_3 = T_2^2 + K_0 T_2. \quad (20)$$

Из первого уравнения этой системы находим

$$T_1(t) = \frac{1}{C_0 - 6t} \quad (21)$$

И, подставляя его во второе уравнения, получим

$$T_2' - \frac{6}{C_0 - 6t} T_2 = \frac{2K_0}{C_0 - 6t}. \quad (22)$$

Однородная часть имеет решения $T_{20}(t) = \frac{6C_1}{6t - C_0}$, а правую часть

неоднородного уравнения ищем методом неопределенных коэффициентов и находим частное решение, т.е. общее решение второй функции имеет вид

$$T_2(t) = \frac{2C_0 K_0}{3(6t - C_0)} - \frac{K_0}{3}. \quad (23)$$

Подставляя $T_1(t), T_2(t)$ в третье уравнение (20), получим следующее уравнение:

$$T_3' + \frac{2}{6t - C_0} T_3 = \frac{4K_0^2 t(C_0 - 2t)}{(6t - C_0)^2}, \quad (24)$$

определение общего решения последнего уравнения не составляет труда, и оно записывается

$$T_3(t) = \frac{C_1}{(6t - C_0)^{1/3}} - \frac{K_0^2}{(6t - C_0)} \cdot (t^2 - 3C_0 t + \frac{3C_0^2}{4}). \quad (25)$$

А с учетом (18) получим окончательное решение для искомой функции

$$W(x, t) = -\frac{x^2}{6t - C_0} + \frac{x}{3} \left(\frac{C_0 - 2t}{6t - C_0} \right) K_0 + \frac{C_0}{9K_0(6t - C_0)^{1/3}} - \frac{K_0^2}{(6t - C_0)} (t^2 - 3C_0 t + \frac{3C_0^2}{4}). \quad (26)$$

Полученное решение является новым для уравнения (3), которое можно использовать при решении начально-краевых задач и изучении проблемы поступления жидкости в грунты с учетом гравитационных задач.

Список литературы

1. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. – М.: Недра, 1980. – 296 с.
2. Шеко А.И., Постоев Г.П., Кюнтцель В. Изучение режима оползневых процессов. – М.: Недра, 1982. – 255 с.
3. Шайдеггер А.Е. Теоретическая геоморфология. – М.: Прогресс, 1964.
4. Трофимов А.М., Москвин В.М. Математическое моделирование в геоморфологии склонов. – Казань: Казанский университет, 1983. – 28 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

Целью данной работы является построение математической модели, описывающей процесс загрязнения подземной гидросферы через фильтрационный поток жидкости и ее численная реализация в COMSOL Multiphysics с визуализацией результатов. Загрязнителями могут быть промышленные отходы, отходы санаторно-курортных учреждений, дачные участки, АЗС, нитраты, химические растворы и т.д. Качественное исследование, прогнозирование процессов загрязнения подземной гидросферы является основной задачей охраны окружающей среды.

Постановка задачи. Рассматривается типичный случай загрязнения подземной гидросферы. В сухой грунт проникает жидкость с определенной концентрацией вредных веществ. Источниками загрязнения могут быть хвостохранилища или локальные источники загрязнения. В данной работе рассматривается случай, когда загрязнение может происходить через дно пруда хвостохранилища (рис. 1). Для общности задачи пористая среда под основанием пруда считается двухслойной. Если среда однородная, то в программе параметры для двухслойной среды вводятся одинаковые для двух сред.

На рис. 1 показано схематичное проникновение загрязнителей из водоема глубиной H в грунты. Водопроницаемые грунты глубиной h_1 , h_2 имеют разные гидрогеологические характеристики. Нижняя граница второго слоя считается непроницаемой. Вода на дневной поверхности содержит вредные вещества постоянной концентрации. Вредные вещества входят в почву с водой и перемещаются через пористую среду адвекцией и дисперсией. В процессе впитывания раствора в слоях грунта уменьшаются концентрации в воде и замедляется движение раствора относительно воды. Сорбция и биологический распад считаются линейно пропорциональным водным концентрациям. Сначала решается фильтрационная задача, затем, с учетом результатов фильтрационной задачи, решается задача о переносе вредных веществ. Задача решается методом конечных элементов. Разбиение области на треугольные элементы производится автоматически и представлено на рис. 2. В начальный момент задается поле значений гидростатических давлений и концентраций.

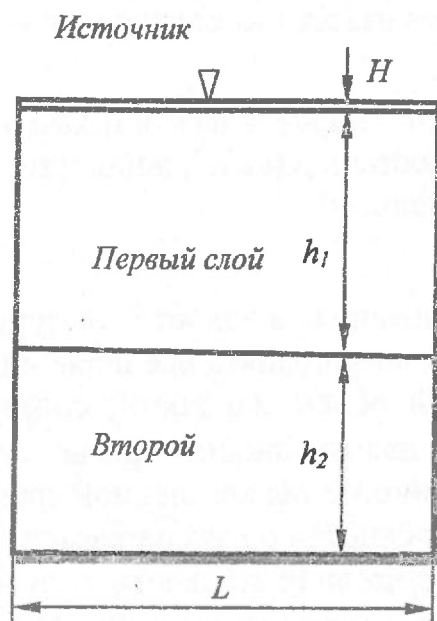


Рис. 1. Схематичное представление проникновение загрязнителей в слой грунта

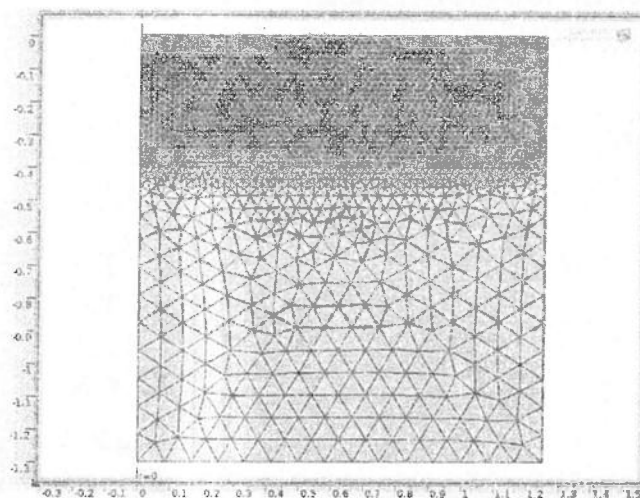


Рис. 2. Конечно-элементная схема (4106 элементов)

Процесс насыщения и фильтрации жидкости рассматривается в сухой пористой среде, т.е. с учетом изменения влажности пористой среды, и моделируется уравнением Ричардсона.

$$(C + S_e S) \frac{\partial H_p}{\partial t} + \nabla \cdot (-K \nabla (H_p + D)) = 0 ,$$

где C — влагоемкость грунта; S_e — эффективная насыщенность грунта или почвы (безразмерная); S — коэффициент насыщенности среды; H_p — гидростатическое давление, которое пропорционально давлению P (Па); t — время; K — гидравлическая проницаемость (м/с); $D = z$ — направление, которое представляет разность по вертикали (м).

Гидравлический напор H , гидростатическое давление H_p , и высота D связаны с давлением P через известное соотношение

$$H_p = \frac{P}{\rho g}; \quad H = H_p + D.$$

k – проницаемость ($1/m^2$) и гидравлическая проводимость, K (m/c) связаны с вязкостью μ ($Pa \cdot s$) и плотностью ρ (kg/m^3) жидкости, и ускорением свободного падения g (m/t^2) соотношением

$$\frac{k}{\mu} = \frac{K}{\rho g}.$$

В процессе проникновения жидкости в сухую или влажную среду жидкость может не полностью заполнять все поры в грунте. Поэтому вводится параметр, характеризующий объем жидкости, содержащийся в грунте $S = (\theta_s - \theta_r) / (lm \rho g)$ – уровень насыщенности среды. Здесь θ_s, θ_r характеризует содержание воды в насыщенной и ненасыщенной среде. Влагоемкость среды C характеризует изменения влажности с изменением гидростатического давления $C = \partial / \partial H_p$ или изменение содержание жидкости в грунте $S \partial H_p / \partial t = \theta \partial / \partial t$. В случае насыщенности среды C стремится к нулю. Параметр K характеризует, с какой интенсивностью пропускает жидкость через среду $K = K_s k_r$, где k_r – относительная проводимость среды или $k_r = K / K_s$. Все эти характеристики в программе введены следующим образом:

$$\theta = \begin{cases} \theta_r + S_s(\theta_s - \theta_r), & H_p < 0. \\ \theta_s, & H_p \geq 0. \end{cases}$$

$$S_s = \begin{cases} \frac{1}{\{1 + |\alpha H_p|^{(n)}\}^m}, & H_p < 0. \\ 1, & H_p \geq 0 \end{cases}$$

$$C = \begin{cases} \frac{am}{1-m} (\theta_s - \theta_r) S_s e^{\frac{1}{m}} (1 - S_s e^{\frac{1}{m}})^m, & H_p < 0. \\ 0, & H_p \geq 0 \end{cases}$$

$$k_r = \begin{cases} S_s \left(1 - \left(1 - S_s e^{\frac{1}{m}}\right)^m\right)^2, & H_p < 0. \\ 1, & H_p \geq 0 \end{cases}$$

Граничные условия. Кроме источника загрязнения на всех границах области ставится условие непроницаемости

$$n u = 0 \quad (1)$$

где n – вектор нормали границ области, u – скорость фильтрации. Начальное условие для гидростатического давления задано

$$H_p = H_{p0} \quad (2)$$

Скорость фильтрации с гидростатическим давлением связаны через закона Дарси

$$u = K_s k_r \nabla (H_p + D) \quad (3)$$

Процесс переноса вредных веществ в пористой среде моделируется в общем виде уравнением

$$\frac{\partial}{\partial t} (\theta_c) + \frac{\partial}{\partial t} (\rho_b c_p) + \nabla [-\theta D_L \nabla c + u c] = \sum R_L + \sum R_p + S_c$$

Здесь c – растворенная концентрация вещества в жидкости (kg/m), c_p – масса адсорбированного загрязнителя на грунте (mg/kg), θ – доля объема жидкости в

грунте, ρ_b — объемная плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$), $\rho_b c_p$ — масса раствора в грунте, D_L — гидродинамический тензор дисперсии ($\text{м}^2/\text{д}$),

R_L — представляет реакции в воде ($\text{кг}/(\text{м}^3\text{д})$), R_p — представляет реакцию, вовлекающую растворы ($\text{кг}/(\text{м}^3\text{д})$), S_c — раствор, отнесенный к единичному объему почвы в единицу времени ($\text{кг}/(\text{м}^3\text{д})$). Для простоты вышеприведенное уравнение перепишем только для случая растворенной концентрации. Введем следующее преобразование:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta c) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho_b c_p) \equiv \theta \frac{\partial c}{\partial t} + c \frac{\partial \theta}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial c_p}{\partial c} \frac{\partial c}{\partial t}$$

Масса раствора в почве c_p выражается линейно через концентрацию и коэффициент разделения K_p ($\text{м}^3/\text{кг}$)

$$c_p = K_p c$$

или

$$K_p = \frac{\partial c_p}{\partial c}$$

С учетом этих преобразований исходное уравнение имеет вид

$$(\theta + \rho_b K_p) \frac{\partial c}{\partial t} + c \frac{\partial \theta}{\partial t} + \nabla(-\theta D_L \nabla c + uc) = \theta \varphi_L c + \rho_b K_p \varphi_p c + S_c$$

Здесь φ_L , φ_p — показатели распада для растворенных и впитанных почвой концентраций раствора, D_L — гидродинамический тензор дисперсии, описывает механическое распространение от движения грунтовой воды в дополнение к химическому распространению:

$$\theta D_{Lii} = \alpha_1 \frac{u_i^2}{|u|} + \alpha_2 \frac{u_i^2}{|u|} + \theta D_m \tau_L,$$

$$\theta D_{Lij} = (\alpha_1 - \alpha_2) \frac{u_i u_j}{|u|},$$

где D_{Lii} — диагональные компоненты тензора дисперсии; D_{Lij} — недиагональные члены; α_1, α_2 — продольные и поперечные дисперсии (м); D_m — коэффициент молекулярной дисперсии ($\text{м}^2/\text{д}$); τ_L — фактор извилистости, который уменьшает воздействия молекулярного распространения в пористой среде относительно чистой воды.

Граничные и начальные условия процесса переноса вредных веществ в грунте считаются следующими: в начале раствор поступает в грунт с водой при концентрации c_0 . До начала процесса загрязнения грунт считается сухим и чистым, т.е. начальное условие — нулевая концентрация. Все границы области загрязнения, кроме границ, где происходит загрязнение, считаются непроницаемыми. Конкретно рассмотрен типичный пример, исходные данные которого равны:

Для фильтрационной задачи:

Таблица 1

Переменные	Описание переменных	Верхний слой почвы	Нижний слой почвы
K_z	Насыщенная гидравлическая проводимость	0,298	0,454
θ_z	Пористость	0,399	0,339
θ_r	Остаточная насыщенность	0,001	0,001
α	Альфа параметр	1,74	1,39
H_{pc}	Начальное гидростатическое давление	0,01	

Исходные данные для задачи переноса вредных веществ:

Таблица 2

Переменные	Единица измерения	Описание	Значения
ρ_d	Kg/m^3	Объемная плотность	1400
k_p	m^3/kg	Коэффициент распределения	0.0001
D_m	m^2/d	Коэффициент молекулярной диффузии	0.00374
α_r	M	Продольная дисперсия	0.005
α_z	M	Поперечная дисперсия	0.001
φ_L	d^{-1}	Уровень распада в жидкости	0.05
φ_p	d^{-1}	Уровень распада в грунте	0.01
c_0	kg/m^3	Начальный уровень концентрации раствора	0
c	kg/m^3	Уровень концентрации раствора в объеме жидкости	1.0

Согласно вышеприведенной математической модели загрязнения подземной гидросферы произведены расчеты на определенный период времени. Ниже приведены результаты расчета.

Результаты расчета представлены после 14,4 часа с начала загрязнения. Как видно из рис. 3, хорошо показано процентное содержание вредного вещества в грунте. Оно распространяется согласно гидростатическому давлению в среде. Поле давлений за это время показано на рис. 4.

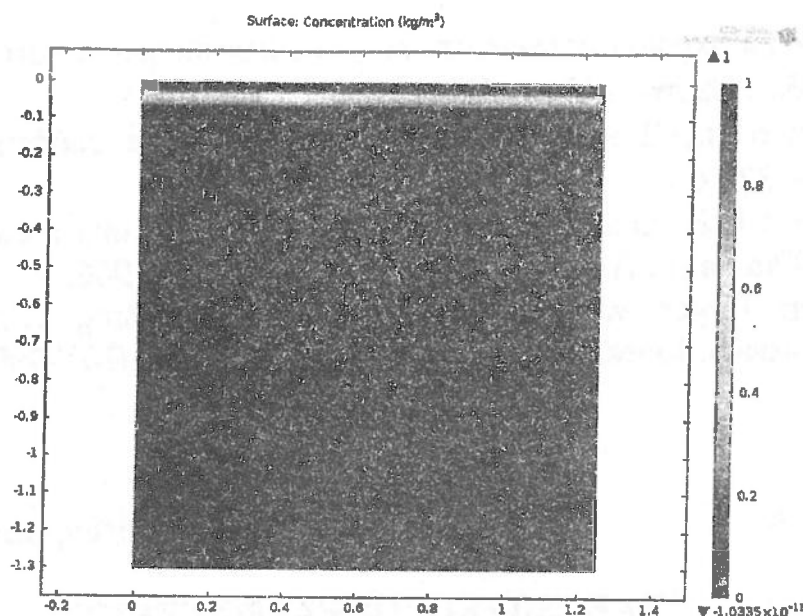


Рис. 3. Концентрация раствора в слоях грунта время 51840 с

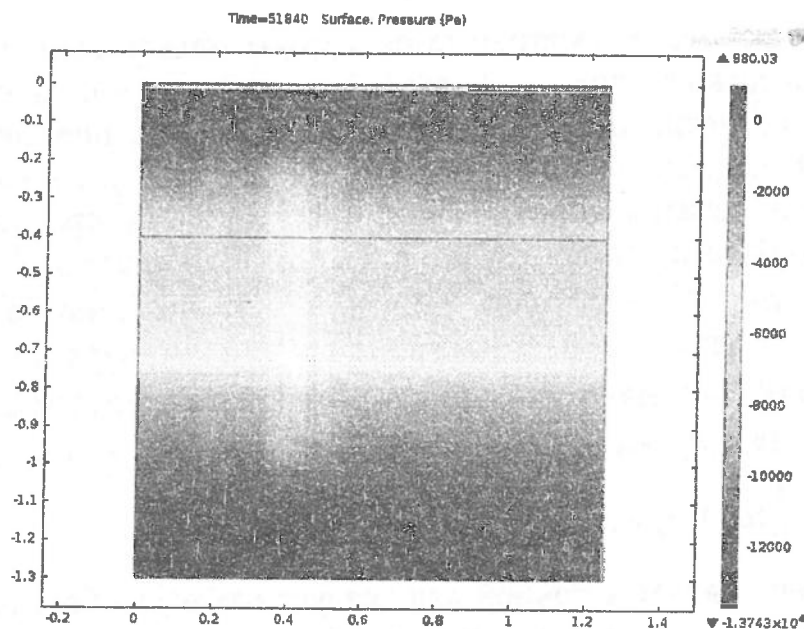


Рис. 4. Давление в слоях грунта время 51840 с

Выводы. Результаты математической модели загрязнения вредных веществ в пористой среде, полученные с помощью программного продукта, являются достоверными. Работоспособность модели и программного продукта COMSOL проверены на типичном примере задачи загрязнения подземной гидросферы.

Список литературы

1. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения/ Под ред. И.К. Гавич. –М.: Недра, 1985. – 320 с.
2. Лукнер Л., Шестаков М.М. Моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1975. – 320 с.
3. Brooks R.H. and Corey A.T. "Properties of porous media affecting fluid flow". J.Irrig. Drainage., ASCE. Proc.72(IR2), pp. 61-88, 1966.
4. Pryor, Roger W., Multiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach, Jones and Bartlett Publishers, ISBN: 0763779997, 2009

УДК 533(075 8)

А.И.Исманбаев, Э.Б.Чечейбаева

ТРАНСЗВУКОВОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОБТЕКАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО КРЫЛА

В данной работе рассматриваются методы малых возмущений, которые можно использовать для получения приближенных уравнений, справедливых в трансзвуковой области. Методы разложений основаны, прежде всего, на том факте, что характерная относительная толщина, или угол наклона вектора скорости – очень малая величина. В линейной теории, которая несправедлива в трансзвуковой области, считается, что число Маха невозмущенного потока M_∞ фиксировано при $\delta \rightarrow 0$. Чтобы получить приближение, справедливое в трансзвуковой области, нужно рассмотреть предельный переход $\delta \rightarrow 0$, $M_\infty \rightarrow 1$.

Рассмотрим систему уравнений для потенциала скорости $\varphi(x, y, z)$

$$(a^2 - \varphi_x^2)\varphi_{xx} - 2\varphi_x\varphi_y\varphi_{xy} + (a^2 - \varphi_y^2)\varphi_{yy} + (a^2 - \varphi_z^2)\varphi_{zz} - 2\varphi_x\varphi_z\varphi_{xz} - 2\varphi_y\varphi_z\varphi_{yz} = 0, \\ -\frac{a^2}{\chi-1} = \frac{1}{2}(\varphi_x^2 + \varphi_y^2 + \varphi_z^2) - \frac{1}{2}u^2 - \frac{a_\infty}{\chi-1}, \quad \chi = \frac{C_p}{C_v}. \quad (1)$$

Эта система является точной для дозвуковых и для безударных течений. Ее также можно взять за основу при построении теории трансзвуковых течений со скачками уплотнения.

Поскольку потенциал найден $\varphi(x, y, z)$, можно определить и вектор скорости q , скорость звука, давление P и плотность ρ потока газа.

Основным уравнением для этого служит уравнение неразрывности, записанное в дивергентной форме:

$$\nabla \left(\frac{\rho}{\rho_\infty} q \right) = 0, \quad \nabla \left(\left(\frac{a}{a_\infty} \right)^{\frac{2}{\gamma-1}} \nabla \varphi \right) = 0. \quad (2)$$

Задача обтекания трехмерного крыла формулируется следующим образом.

Выберем длину хорды крыла, равную 1 относительную толщины δ и представим верхнюю и нижнюю поверхности, лежащие вблизи плоскости $y = 0$ семейством функций

$$S(x, y, z) = y - \delta F_{u, \ell} \left(x, \frac{z}{b} \right)$$

при $0 < x < 1$, b — полуширина.

Граничные условия будут следующими:

- 1) равномерное течение на бесконечности вдоль плоскости xu .

$$\varphi = Ux \quad \text{или} \quad (\varphi_x \rightarrow U, \varphi_y \rightarrow 0, \varphi_z \rightarrow 0) \quad \text{при} \quad x \rightarrow -\infty; \quad (3)$$

U — скорость потока газа;

- 2) условие непротекания в каждой точке поверхности

$$\frac{\varphi_y(x, \delta F_{u, \ell}(x))}{\varphi_x(x, \delta F_{u, \ell}(x))} = \delta F'_{u, \ell}(x); \quad (4)$$

- 3) условие Кутта-Жуковского.

Пусть проекции передней и задней кромок крыла на плоскость $y = 0$ определяются следующим образом:

$$x = x_{п.к.} \left(\frac{z}{b} \right) = x_{п.к.} \left(\frac{\tilde{z}}{B} \right) \quad \text{— передняя кромка,}$$

$$x = x_{з.к.} \left(\frac{z}{b} \right) = x_{з.к.} \left(\frac{\tilde{z}}{B} \right) \quad \text{— задняя кромка,} \quad (5)$$

где $\tilde{z} = \delta^{1/3} z$, $B = \delta^{1/3} b$

Основное разложение потенциала при трансзвуковой скорости принимает вид

$$\varphi(x, y, z; M_\infty, \delta, b) = U \left\{ x + \delta^{2/3} \bar{\varphi}(x, \tilde{y}, z, k, B) + \dots \right\}. \quad (6)$$

Здесь k — параметр трансзвукового подобия.

Граничное условие непротекания $q \nabla S = 0$ на поверхности $S = 0$ берется в форме

$$\varphi_n = \delta \frac{\partial F}{\partial x} \varphi_x + \frac{\delta}{b} \frac{\partial F}{\partial(2)} \varphi_z,$$

при $y = \delta F$ $\partial F / \partial(2)$ означает производную от функции, задающей контур, по ее второму аргументу. В трансзвуковом пределе следует положить $\beta = \delta^{1/3} b$. Фиксировано при $\delta \rightarrow 0$, $M_\infty \rightarrow 1$.

Условие Кутта-Жуковского приближенно ставится как условие отсутствия разрыва давления на дозвуковой задней кромке:

$$\varphi_x(1, 0+) - \varphi_x(1, 0-) = [\varphi_x] = 0.$$

Условие Кутта-Жуковского должно формулироваться на задней кромке точно так же, как и в двумерном случае; в рамках теории малых возмущений нет произвола в выборе положения задней кромки $x = x_{з.к.}$. Формула для распределения давления имеет тот же вид:

$$[\varphi_x]_{з.к.} = \varphi_x(x_{з.к.}, 0+, \tilde{z}) - \varphi_x(x_{з.к.}, 0-, \tilde{z}) = 0.$$

Сходящая с несущего крыла вихревая пелена простирается вниз по потоку от него; как и в линейной теории, ее с достаточной точностью можно считать лежащей в плоскости $\tilde{y} = 0$.

Рассмотрим метод трансзвукового разложения для задач обтекания трехмерного крыла профилем стационарным трансзвуковым потоком газа. Исходным является система уравнений для полного потенциала скорости (1).

Применяя метод малых возмущений, потенциал скорости представим в следующем виде:

$$\varphi(x, y, z) = U \left(x + \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^{n+1} \varphi_n(x, \tilde{y}, \tilde{z}) \right). \quad (7)$$

Здесь U — скорость поступательного движения потока газа, ε — малый параметр. Имеет место следующая связь:

$$\varepsilon = \delta^{2/3},$$

где δ — толщина обтекаемого газом тела. Переменные y, z подвергаются нижеследующим растяжениям:

$$\tilde{y} = \varepsilon^{1/2} y, \quad \tilde{z} = \varepsilon^{1/2} z.$$

Уравнение Эйлера для потенциала скорости приводится к следующему виду:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{a_\infty^2}{u^2} + \frac{\chi-1}{2} \left(1 - \frac{\varphi_y^2}{u^2} - \frac{\varphi_z^2}{u^2} \right) - \frac{\chi+1}{2} \frac{\varphi_x^2}{u^2} \right) \frac{\varphi_{xx}}{u} - 2\varphi_x \varphi_y \frac{\varphi_{xy}}{u^3} + \\ & + \left(\frac{a_\infty^2}{u^2} + \frac{\chi-1}{2} \left(1 - \frac{\varphi_x^2}{u^2} - \frac{\varphi_z^2}{u^2} \right) - \frac{\chi+1}{2} \frac{\varphi_y^2}{u^2} \right) \frac{\varphi_{yy}}{u} + \\ & + \left(\frac{a_\infty^2}{u^2} + \frac{\chi-1}{2} \left(1 - \frac{\varphi_x^2}{u^2} - \frac{\varphi_y^2}{u^2} \right) - \frac{\chi+1}{2} \frac{\varphi_z^2}{u^2} \right) \frac{\varphi_{zz}}{u} - 2\varphi_x \varphi_z \frac{\varphi_{xz}}{u^3} - 2\varphi_y \varphi_z \frac{\varphi_{yz}}{u^3} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Далее находим все частные производные от потенциала скорости $\varphi(x, \tilde{y}, \tilde{z})$, подставляем в полученное уравнение (8). В результате группировки членов при одинаковых степенях малого параметра ε , приравнявая далее их к нулю, получаем $(n+1)$ дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Приведем здесь четыре приближения уравнения Эйлера (1), решениями которых являются приближения потенциала скорости возмущения $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ и т.д.

$$(k - (\chi+1)\varphi_{0x}\varphi_{0xx} + \varphi_{0\tilde{y}\tilde{y}} + \varphi_{0\tilde{z}\tilde{z}}) = 0, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & (k - (\chi+1)\varphi_{0x})\varphi_{1xx} - (\chi+1)\varphi_{0xx}\varphi_{1x} + \varphi_{1\tilde{y}\tilde{y}} + \varphi_{1\tilde{z}\tilde{z}} = \frac{\chi+1}{2}\varphi_{0x}^2\varphi_{0xx} + \\ & + (\chi-1)\varphi_{0x}\varphi_{0\tilde{y}\tilde{y}} + \varphi_{0x}\varphi_{0\tilde{z}\tilde{z}} + 2(\varphi_{0\tilde{z}}\varphi_{0x\tilde{z}} + \varphi_{0\tilde{y}}\varphi_{0x\tilde{y}}) - k(\varphi_{0\tilde{y}\tilde{y}} + \varphi_{0\tilde{z}\tilde{z}}) = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (k - (\chi + 1)\varphi_{0x})\varphi_{2xx} - (\chi + 1)\varphi_{0xx}\varphi_{2x} + \varphi_{2\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{2\bar{z}\bar{z}} = (\chi + 1)(\varphi_{0x}\varphi_{1x}\varphi_{0xx} + (\varphi_{1x} + \frac{1}{2}\varphi_{0x}^2)\varphi_{1xx}) + \\
& + (\chi - 1)(\varphi_{0x}\varphi_{1\bar{y}\bar{y}} + (\varphi_{1x} + \frac{1}{2}\varphi_{0x}^2)\varphi_{0\bar{y}\bar{y}}) + (\chi - 1)(\varphi_{0x}\varphi_{1\bar{z}\bar{z}} + (\varphi_{1x} + \frac{1}{2}\varphi_{0x}^2)\varphi_{0\bar{z}\bar{z}}) + 2(\varphi_{0\bar{y}}\varphi_{1x\bar{y}} + \\
& + \varphi_{1\bar{y}}\varphi_{0x\bar{y}} + \varphi_{0\bar{y}}\varphi_{0x}\varphi_{0x\bar{y}}) + 2(\varphi_{0\bar{z}}\varphi_{1x\bar{z}} + \varphi_{1\bar{z}}\varphi_{0x\bar{z}} + \varphi_{0\bar{z}}\varphi_{0x}\varphi_{0x\bar{z}}) + \frac{\chi - 1}{2}(\varphi_{0\bar{y}}^2 + \varphi_{0\bar{z}}^2)\varphi_{0xx} - k(\varphi_{1\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{1\bar{z}\bar{z}}) = 0 \\
& (k - (\chi + 1)\varphi_{0x})\varphi_{3xx} - (\chi + 1)\varphi_{0xx}\varphi_{3x} + \varphi_{3\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{3\bar{z}\bar{z}} = (\chi + 1)(\varphi_{0x}\varphi_{2x} + \frac{1}{2}\varphi_{1x}^2)\varphi_{0xx} + (\varphi_{2x} + \\
& + \varphi_{0x}\varphi_{1x})\varphi_{1xx} + (\varphi_{1x} + \frac{1}{2}\varphi_{0x}^2)\varphi_{2xx} + \frac{(\chi + 1)}{2}(\varphi_{0\bar{y}}^2\varphi_{0\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{0\bar{z}}^2\varphi_{0\bar{z}\bar{z}}) + (\chi - 1)(\varphi_{0x}\varphi_{2\bar{y}\bar{y}} + \\
& + (\chi - 1)(\varphi_{0x}\varphi_{2\bar{z}\bar{z}} + (\varphi_{1x} + \frac{1}{2}\varphi_{0x}^2)\varphi_{1\bar{y}\bar{y}}) + (\varphi_{2x} + \varphi_{0x}\varphi_{1x} + \frac{1}{2}\varphi_{0x}^2)\varphi_{0\bar{y}\bar{y}}) + (\chi - 1)(\varphi_{0x}\varphi_{2\bar{z}\bar{z}} + \\
& + (\varphi_{1x} + \frac{1}{2}\varphi_{0x}^2)\varphi_{1\bar{z}\bar{z}}) + (\varphi_{2x} + \varphi_{0x}\varphi_{1x} + \frac{1}{2}\varphi_{0x}^2)\varphi_{0\bar{z}\bar{z}}) + 2(\varphi_{0\bar{y}}\varphi_{2x\bar{y}} + \\
& + \varphi_{1\bar{y}}\varphi_{1x\bar{y}} + \varphi_{2\bar{y}}\varphi_{0x\bar{y}} + (\varphi_{0\bar{y}}\varphi_{1x\bar{y}} + \varphi_{1\bar{y}}\varphi_{0x\bar{y}})\varphi_{0x} + \varphi_{0\bar{y}}\varphi_{0x\bar{y}}\varphi_{1x}) + 2(\varphi_{0\bar{z}}\varphi_{2x\bar{z}} + \varphi_{1\bar{z}}\varphi_{1x\bar{z}} + \\
& + \varphi_{2\bar{z}}\varphi_{0x\bar{z}} + (\varphi_{0\bar{z}}\varphi_{1x\bar{z}} + \varphi_{1\bar{z}}\varphi_{0x\bar{z}})\varphi_{0x} + \varphi_{0\bar{z}}\varphi_{0x\bar{z}}\varphi_{1x}) + 2\varphi_{0\bar{y}}\varphi_{0\bar{z}}\varphi_{0\bar{y}\bar{z}} + (\chi - 1)(\frac{1}{2}(\varphi_{0\bar{y}}^2 + \\
& + \varphi_{0\bar{z}}^2)\varphi_{1xx} + (\varphi_{0\bar{y}}\varphi_{1\bar{y}} + \varphi_{0\bar{z}}\varphi_{1\bar{z}})\varphi_{0xx}) - k(\varphi_{1\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{1\bar{z}\bar{z}}) = 0, \\
& \text{Здесь } k = \frac{1 - M_\infty^2}{\delta^2} - \text{параметр трансзвукового подобия.}
\end{aligned}$$

Относительно нулевого приближения потенциала скорости возмущения $\varphi_0(x, \bar{y}, \bar{z})$ получаем нелинейное дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка, которое служит основным уравнением при решении задач обтекания тонких тел трансзвуковым потоком газа. Остальные приближения являются линейными дифференциальными уравнениями. Полученные линейные уравнения в частных производных второго порядка и последующие приближения к полному уравнению газовой динамики можно представить в виде рекуррентно определяемых и интегрируемых систем дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
& (k - (\chi + 1)\varphi_{0x})\varphi_{nxx} - (\chi + 1)\varphi_{0xx}\varphi_{nx} + \varphi_{n\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{n\bar{z}\bar{z}} = \sum_{i=0}^{n-1} \left[\frac{\chi + 1}{2}\varphi_{ixx}\bar{\varphi}_{n-1-i} + 2\varphi_{i\bar{y}}\varphi_{(n-1-i)\bar{y}} + \right. \\
& + 2\varphi_{i\bar{z}}\varphi_{(n-1-i)\bar{z}} + (\chi - 1)(\varphi_{i\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{i\bar{z}\bar{z}})\varphi_{(n-1-i)x} \left. \right] + \sum_{i=0}^{n-2} \frac{\chi + 1}{2} [\varphi_{ixx}(G_{n-2-i} + D_{n-2-i}) + \\
& + \bar{\varphi}_{(n-2-i)}(\varphi_{i\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{i\bar{z}\bar{z}})] + \sum_{i=0}^{n-2} (\chi + 1)\varphi_{(n-1-i)x}\varphi_{(i+1)xx} + 2\sum_{i=0}^{n-2} \varphi_{(n-2-i)x}(\phi_i + \psi_i) + \\
& + \sum_{i=0}^{n-3} \frac{\chi + 1}{2}(\varphi_{i\bar{y}\bar{y}}G_{n-3-i} + \varphi_{i\bar{z}\bar{z}}D_{n-3-i}) + \sum_{i=0}^{n-3} \frac{\chi - 1}{2}(\varphi_{i\bar{y}\bar{y}}D_{n-3-i} + \varphi_{i\bar{z}\bar{z}}G_{n-3-i}) + \\
& + 2\sum_{i=0}^{n-3} \varphi_{i\bar{y}\bar{z}}R_{n-3-i} - k(\varphi_{(n-1)\bar{y}\bar{y}} + \varphi_{(n-1)\bar{z}\bar{z}}). \quad (10)
\end{aligned}$$

Здесь введены следующие обозначения для функций $\Phi_i, \bar{\varphi}_i, G_i$ ($i = 1, 2, \dots, m$), которые выражаются через частные производные скорости возмущения и используются при определении выражений, содержащихся в правой части рекуррентной системы

$$\begin{aligned}\phi_i &= \phi_m = \sum_{k=0}^m \phi_{k\bar{y}} \phi_{(m-k)\bar{y}}, \psi_i = \psi_m = \sum_{k=0}^m \phi_{k\bar{z}} \phi_{(m-k)\bar{z}}, \bar{\phi}_m = \frac{1}{m\phi_{\alpha x}} \sum_{k=1}^m (3k-m) \phi_{kx} \bar{\phi}_{m-k}, \\ D_{n-2-i} &= D_m = \frac{1}{m\phi_{\alpha\bar{z}}} \sum_{k=1}^m (3k-m) \phi_{k\bar{z}} D_{m-k} \\ G_{n-2-i} &= G_m = \frac{1}{m\phi_{\alpha\bar{y}}} \sum_{k=1}^m (3k-m) \phi_{k\bar{y}} G_{m-k}, R_{n-2-i} = R_m = \sum_{k=0}^m \phi_{k\bar{y}} \phi_{(m-k)\bar{z}}.\end{aligned}\quad (11)$$

Применяя соотношения (11), запишем выражения для функций $\phi_i, \psi_i, \phi_i, D_i, R_i, G_i$ при значениях $m=1,2,3$:

$$\phi_0 = \phi_{\alpha\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{y}}, \phi_1 = \phi_{\alpha\bar{y}} \phi_{1\bar{y}} + \phi_{1\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{y}}, \phi_2 = \phi_{\alpha\bar{y}} \phi_{2\bar{y}} + \phi_{1\bar{y}} \phi_{1\bar{y}} + \phi_{2\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{y}}, \quad (12)$$

$$\psi_0 = \phi_{\alpha\bar{z}} \phi_{\alpha\bar{z}}, \psi_1 = \phi_{\alpha\bar{z}} \phi_{1\bar{z}} + \phi_{1\bar{z}} \phi_{\alpha\bar{z}}, \psi_2 = \phi_{\alpha\bar{z}} \phi_{2\bar{z}} + \phi_{1\bar{z}} \phi_{1\bar{z}} + \phi_{2\bar{z}} \phi_{\alpha\bar{z}}, \quad (13)$$

$$\bar{\phi}_1 = 2\phi_{1x} \phi_{\alpha x}, \bar{\phi}_2 = \phi_{1x}^2 + 2\phi_{2x} \phi_{\alpha x}, \bar{\phi}_3 = 2(\phi_{1x} \phi_{2x} + \phi_{3x} \phi_{\alpha x}) \quad (14)$$

Положим здесь, что

$$\bar{\phi}_0 = \phi_{\alpha}^2, G_1 = 2\phi_{1\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{y}}, G_2 = \phi_{1\bar{y}}^2 + 2\phi_{2\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{y}}, G_3 = 2(\phi_{1\bar{y}} \phi_{2\bar{y}} + 2\phi_{3\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{y}}) \quad (15)$$

Также здесь принято, что $G_0 = \phi_{\alpha\bar{y}}^2$. Аналогичным образом определяются величины $D_1, D_2, D_3, D_0, R_0, R_1$ и R_2 .

$$D_1 = 2\phi_{1\bar{z}} \phi_{\alpha\bar{z}}, D_2 = \phi_{1\bar{z}}^2 + 2\phi_{2\bar{z}} \phi_{\alpha\bar{z}}, D_3 = 2(\phi_{1\bar{z}} \phi_{2\bar{z}} + \phi_{3\bar{z}} \phi_{\alpha\bar{z}}), D_0 = \phi_{\alpha\bar{z}}^2 \quad (16)$$

$$R_0 = \phi_{\alpha\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{z}}, R_1 = \phi_{\alpha\bar{y}} \phi_{1\bar{z}} + \phi_{1\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{z}}, R_2 = \phi_{\alpha\bar{y}} \phi_{2\bar{z}} + \phi_{1\bar{y}} \phi_{1\bar{z}} + \phi_{2\bar{y}} \phi_{\alpha\bar{z}}.$$

Полезно отметить, что уравнение Кармана-Гудерлея является уравнением сохранения. Следовательно, его можно записать в дивергентной форме, так что оно будет выражать закон сохранения некоторой физической величины.

$$\left(K\phi_x - \frac{\gamma+1}{2} \phi_x^2 \right)_x + (\phi_{\bar{y}})_{\bar{y}} + (\phi_{\bar{z}})_{\bar{z}} = 0 \quad (17)$$

Условие сохранения массы на ударной волне снова можно получить путем интегрирования уравнения в дивергентной форме (17) поперек поверхности разрыва. Соответствующий вектор потока массы имеет вид

$$\frac{\rho\bar{q}}{\rho_{\infty}U} = i \left\{ 1 + \delta^{\frac{4}{3}} \left(K\phi_x - \frac{\gamma+1}{2} \phi_x^2 \right) + \dots \right\} + \delta \bar{\nabla} \phi + \dots, \quad (18)$$

$$\text{где } \bar{\nabla} = i_{\bar{y}} \frac{\partial}{\partial \bar{y}} + i_{\bar{z}} \frac{\partial}{\partial \bar{z}}.$$

Закон сохранения массы поперек ударной волны $[q^*n]_s = 0$ представлен уравнением

$$\left[K\phi_x - \frac{\gamma+1}{2} \phi_x^2 \right] + [\nabla \tilde{\phi}] \frac{[\tilde{\nabla} S]}{S_x} = 0, \quad (19)$$

а условие сохранения касательной компоненты скорости $[q]^*n = 0$ — уравнением

$$i_x [\phi_x]^* \frac{[\tilde{\nabla} S]}{S_x} + [\nabla \tilde{\phi}]^* i_x = 0. \quad (20)$$

Для заданной геометрии ударной волны (19) и (20) дают три соотношения для возмущений компонент скорости за ударной волной, выраженных через соответствующие величины перед ней. Эквивалентом соотношения (20) служит условие $[\phi] = 0$.

Список литературы

1. Коул Дж. Методы возмущений в прикладной математике. — М.: Мир, 1972.
2. Коул Дж. Трансзвуковая аэродинамика. — М.: Мир, 1978.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. — Изд. 6-е, перераб. и доп. — М.: Наука, 1987. — 840 с.
4. Черный Г.Г. Газовая динамика. — М.: Наука, 1988.

УДК 517.946

А.И. Исманбаев, Д.А.Искендерова, Г.Т.Мусатаева

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ВЯЗКОЙ РЕАГИРУЮЩЕЙ СМЕСИ ГАЗОВ

Система уравнений, описывающая движение вязкой реагирующей смеси газов с цилиндрическими волнами в массовых лагранжевых координатах, имеет вид /1-3/:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial q}(xu), \quad v = \frac{1}{\rho}, \\
 \frac{\partial c}{\partial t} &= \chi \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{x^2}{v} \frac{\partial c}{\partial q} \right) - c g, \\
 \frac{\partial u}{\partial t} &= \mu x \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial q}(xu) \right) - x \frac{\partial p}{\partial q}, \quad p = r \frac{\theta}{v}, \\
 \frac{\partial \theta}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial q} \left(\lambda_1(\theta) \frac{x^2}{v} \frac{\partial \theta}{\partial q} \right) + \frac{\partial}{\partial q} \left(\lambda_2(\theta) \frac{x^2}{v} \theta \frac{\partial c}{\partial q} \right) - p \frac{\partial}{\partial q}(xu) + \\
 &+ \frac{\mu}{v} \left(\frac{\partial}{\partial q}(xu) \right)^2 - \frac{3\mu}{2} \frac{\partial}{\partial q}(u^2) + \delta c g.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь ρ, v, u, θ, p, c — плотность, удельный объем, скорость, температура смеси, давление и массовая концентрация компонент; χ, μ, r, δ — физические постоянные; $x \in [a; 1]$, $a > 0$ — эйлерова координата, $r \in [a; 1]$ — лагранжева координата, $q \in [0; b]$ — массовая лагранжева координата, $t \in [0; T]$, $0 < T < \infty$ — время.

В эйлеровых координатах рассматриваемая область $(x, t) \in Q' = \Omega' \times (0, T)$, $\Omega' = (a, 1)$, $a > 0$ не включает ось симметрии, где уравнения вырождаются. При рассмотрении в массовых лагранжевых координатах область $(q, t) \in Q = \Omega \times (0, T)$, $\Omega = (0, b)$ также не содержит линии вырождения.

Эйлерову координату следует рассматривать как решение задачи Коши

$$\frac{\partial x}{\partial t}(q, t) = u(q, t), \quad x(q, 0) = r(q). \tag{2}$$

Между различными введенными координатами существует связь /1/:

$$\frac{\partial x}{\partial q} = \frac{v}{x}, \quad q = \int_a^r \rho_0(r) dr, \quad (3)$$

где $\rho_0(r)$ – начальное распределение плотности.

Функции u_0, θ_0, v_0, c_0 , задающие начальные данные

$$u|_{t=0} = u_0(q), \quad \theta|_{t=0} = \theta_0(q), \quad c|_{t=0} = c_0(q), \quad v|_{t=0} = v_0(q), \quad (4)$$

предполагаются известными, непрерывными,

$$0 < c_0(q) \leq 1, \quad 0 < m_0 \leq (v_0(q), \theta_0(q)) \leq M_0 < \infty.$$

Область Q при этом не изменится, если принять не ограничивающее общности условие:

$$\int_0^b v_0(q) dq = 1. \quad (5)$$

Граничные условия имеют вид:

$$u|_{q=0} = u|_{q=b} = \frac{\partial \theta}{\partial q}|_{q=0} = \frac{\partial \theta}{\partial q}|_{q=b} = \frac{\partial c}{\partial q}|_{q=0} = \frac{\partial c}{\partial q}|_{q=b} = 0. \quad (6)$$

ТЕОРЕМА. Пусть $\lambda_1(\theta) = \lambda\theta$, $\lambda_2(\theta) = v\theta^{1/2}$, $\lambda, v = \text{const}$ и начальные данные (4) удовлетворяют условиям $(u_0, v_0, \theta_0, c_0) \in W_2^1(0, b)$.

Функция $g(\rho, c, \theta)$ является положительной и непрерывной в любой компактной области своих аргументов, а по $\theta^{1/2}$, кроме того, удовлетворяет условию Литица.

Тогда в области Q с произвольной конечной высотой T , $0 < T < \infty$ существует единственное обобщенное решение задачи (1), (2), (4), (6) такое, что

$$v(q, t) \in L_\infty(0, \Phi; W_2^1(0, b)), \quad \left(\frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial \theta}{\partial t}, \frac{\partial c}{\partial t} \right) \in L_2(Q),$$

$$(u(q, t), \theta(q, t), c(q, t)) \in L_\infty(0, \Phi; W_2^1(0, b)) \cap L_2(0, \Phi; W_2^2(0, b)),$$

$0 < c(q, t) \leq 1$, $v(q, t)$, $\theta(q, t)$ – строго положительные, ограниченные функции.

Доказательство теоремы проведем методом априорных оценок. Выводятся глобальные априорные оценки, положительные постоянные C_i , N_i в которых зависят только от данных задачи и величины T интервала времени, но не зависят от промежутка существования локального решения. На основе полученных глобальных априорных оценок локальное решение [2, 3] продолжается на весь промежуток времени $[0, T]$, $0 < T < \infty$.

Примем положительные постоянные $\chi, \mu, \lambda, v, r, \delta$ равными единице.

Из уравнений системы (1) и ограничений на данные задачи видно, что функции $v(q, t)$, $\theta(q, t)$ неотрицательны и $0 < c(q, t) \leq 1$.

Непосредственно из уравнения неразрывности системы (1) с учетом граничных условий и (5) вытекает оценка:

$$\int_0^1 v(q, t) dq = 1, \quad (7)$$

Умножая третье уравнение системы (1) на u и складывая со вторым и четвертым уравнениями, получим равенство:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} u^2 + c + \theta \right) &= \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{u x}{v} \frac{\partial}{\partial q} (x u) \right) - \frac{\partial}{\partial q} \left(u x \frac{\theta}{v} \right) + \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{x^2 \theta}{v} \frac{\partial \theta}{\partial q} \right) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{x^2}{v} \theta^{3/2} \frac{\partial c}{\partial q} \right) + \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{x^2}{v} \frac{\partial c}{\partial q} \right) - \frac{3}{2} \frac{\partial}{\partial q} (u^2). \end{aligned}$$

Интегрируя его по Q с учетом граничных условий, находим закон сохранения:

$$\int_0^b \left(\frac{1}{2} u^2 + c + \theta \right) dq = \int_0^b \left(\frac{1}{2} u_0^2 + c_0 + \theta_0 \right) dq \leq N_1. \quad (8)$$

Умножая второе уравнение системы (1) на c и интегрируя по (q, t) , имеем оценку:

$$\max_{0 \leq t \leq T} \int_0^b c^2 dq + \int_0^T \int_0^b \left(\frac{1}{v} \left(\frac{\partial c}{\partial q} \right)^2 + c^2 g \right) dq dt \leq N_2.$$

Из (7) следует, что $\forall t \in [0, T]$ найдется такая точка $z(t) \in [0, b]$, что $v(z(t), t) = 1$. Рассуждая аналогично [4], выводится одно вспомогательное соотношение между искомыми функциями:

$$v(q, t) = Y^{-1}(t) B^{-1}(q, t) \left[v_0(q) + \int_0^t \theta(q, \tau) Y(\tau) B(q, \tau) d\tau \right], \quad (9)$$

где $B(x, t) = \exp \left\{ \int_{z(t)}^x \left[\frac{u_0}{r} - \frac{u}{x} - \int_0^t \frac{u^2}{x^2} d\tau \right] dq \right\}$, $Y(t) = \exp \left\{ \int_0^t \frac{\theta}{v}(z(t), \tau) d\tau \right\}$.

Аналогично [4] выводятся неравенства:

$$N_3^{-1} \leq B(q, t) \leq N_3, \quad N_4^{-1} \leq Y(t) \leq N_4, \quad \forall (q, t) \in Q. \quad (10)$$

Пусть $h(q, t)$ – непрерывная функция. Введем обозначения:

$$M_h(t) = \max_{0 \leq q \leq b} h(q, t), \quad m_h(t) = \min_{0 \leq q \leq b} h(q, t).$$

Из (9) и (10) вытекают оценки:

$$m_v(t) \geq N_5. \quad (11)$$

$$M_v(t) \leq C_1 \left[1 + \int_0^t M_\theta(\tau) d\tau \right], \quad \forall t \in [0, T]. \quad (12)$$

Умножением второго уравнения системы (1) на $\frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{x^2}{v} \frac{\partial c}{\partial q} \right)$ и интегрированием по q и по t выводится оценка:

$$\max_{0 \leq t \leq T} \int_0^b \frac{1}{v} \left(\frac{\partial c}{\partial q} \right)^2 dq + \int_0^T \int_0^b \left[\frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{x^2}{v} \frac{\partial c}{\partial q} \right) \right]^2 dq d\tau \leq N_6. \quad (13)$$

Умножим первое уравнение системы (1) на $\left(1 - \frac{1}{v}\right)$, третье на u , четвертое на $\left(1 - \frac{1}{\theta}\right)$ и сложим их со вторым уравнением. Получившееся соотношение проинтегрируем по q .

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_0^b \left(\frac{1}{2} u^2 + c + (\theta - \ln \theta) + (v - \ln v) \right) dq + \int_0^b \left[\frac{x^2 u_q^2}{v \theta} + \frac{v u^2}{\theta x^2} + \frac{x^2 \theta_q^2}{v \theta} + \frac{c g}{\theta} \right] dq = \\ = \int_0^b \left[\frac{x^2 \theta_q c_q}{v \theta^{1/2}} + \frac{u u_q}{\theta} \right] dq. \end{aligned}$$

Применим к правой части неравенства Юнга и Коши. После интегрирования по t , с учетом оценки (13) получим оценку:

$$\begin{aligned} \max_{0 \leq t \leq T} \int_0^b \left(\frac{1}{2} u^2 + c + (\theta - \ln \theta) + (v - \ln v) \right) dq + \\ + \int_0^T \int_0^b \left[\frac{u_q^2}{v \theta} + \frac{v u^2}{\theta} + \frac{\theta_q^2}{v \theta} + \frac{c g}{\theta} \right] dq d\tau \leq N_7. \end{aligned} \quad (14)$$

Из (14) вытекает оценка

$$\int_0^T \int_0^b \frac{1}{v \theta} \left[\frac{\partial}{\partial q} (x u) \right]^2 dq d\tau \leq N_8.$$

Из (8) следует, что $\forall t \in [0, T]$ найдется такая точка $z_1(t) \in [0, b]$, что $\theta(z_1(t), t) \leq N_1$. Справедливо представление

$$\theta^{1/2}(q, t) = \theta^{1/2}(z_1(t), t) + \frac{1}{2} \int_{z_1(t)}^q \frac{\theta_q}{\theta^{1/2}} dq.$$

Используя неравенство Коши и оценку (7), получим

$$M_\theta(t) \leq C_2 \left(1 + \int_0^b \frac{\theta_q^2}{v \theta} dq \right).$$

Отсюда и из (14) имеем оценку:

$$\int_0^T M_\theta(t) dt \leq N_9. \quad (15)$$

Из (12) с учетом (15) вытекает ограниченность удельного объема сверху.

$$M_v(t) \leq N_{10}, \quad \forall t \in [0, T]. \quad (16)$$

Умножим уравнение импульса системы (1) на u и проинтегрируем по Q . После некоторых преобразований [4] находим оценку:

$$\int_0^T \int_0^b \left(\frac{\partial u}{\partial q} \right)^2 dq d\tau \leq N_{11}.$$

Умножим уравнение теплопроводности системы (1) на θ и проинтегрируем по Q . После некоторых преобразований получим оценку:

$$\max_{0 \leq t \leq T} \int_0^b \theta^2 dq + \int_0^T \int_0^b \left(\frac{\partial \theta}{\partial q} \right)^2 dq d\tau \leq N_{12}. \quad (17)$$

Продифференцируем (9) по q .

$$\frac{\partial v}{\partial q} = v(q, t) \cdot A(q, t) + Y^{-1}(t) B^{-1}(q, t) \left[v'_0(q) + \int_0^t \left(\frac{\partial \theta}{\partial q} + \theta \cdot A \right) Y(\tau) B(q, \tau) d\tau \right],$$

где $A(x, t) = \frac{u_0}{r} - \frac{u}{x} - \int_0^t \frac{u^2}{x^2} d\tau$. Отсюда, используя неравенство Коши и (8), (10), (16), (17), выводим оценку:

$$\int_0^b \left(\frac{\partial v}{\partial q} \right)^2 dq \leq N_{13}.$$

Умножим уравнение импульса системы (1) на $x \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial q} (xu) \right)$ и проинтегрируем по Ω . Возникающую при этом производную $\frac{\partial v}{\partial t}$ заменим через уравнение неразрывности системы (1).

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \int_0^b \frac{1}{v} \left(\frac{\partial}{\partial q} (xu) \right)^2 dq + \int_0^b x^2 \left[\frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial q} (xu) \right) \right]^2 dq = \\ & = \int_0^b \frac{1}{v^2} \left(\frac{\partial}{\partial q} (xu) \right)^3 dq + \int_0^b u^2 \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial q} (xu) \right) dq - \\ & - \int_0^b x^2 \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial q} (xu) \right) \cdot \left(\frac{1}{v} \frac{\partial \theta}{\partial q} - \frac{\theta}{v^2} \frac{\partial v}{\partial q} \right) dq. \end{aligned}$$

Оценим интегралы в правой части, используя неравенства Гельдера, Коши и Юнга с учетом полученных выше оценок. После применения леммы Гронуолла имеем оценку:

$$\max_{0 \leq t \leq T} \int_0^b \frac{1}{v} \left(\frac{\partial}{\partial q} (xu) \right)^2 dq + \int_0^T \int_0^b x^2 \left[\frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial q} (xu) \right) \right]^2 dq d\tau \leq N_{14}.$$

Расписывая производную, приходим к оценке

$$\max_{0 \leq t \leq T} \int_0^b \left(\frac{\partial u}{\partial q} \right)^2 dq + \int_0^T \int_0^b \left(\frac{\partial^2 u}{\partial q^2} \right)^2 dq d\tau \leq N_{15}.$$

Непосредственно из первого и третьего уравнений системы (1) получим:

$$\int_0^T \int_0^b \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 dq d\tau \leq N_{16}, \quad \int_0^b \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 dq \leq N_{17}, \quad \forall t \in [0, T].$$

Аналогично /3, 4/ из уравнения теплопроводности системы (1) следует строгая положительность температуры:

$$m_\theta(t) \geq N_{18}, \quad \forall t \in [0, T].$$

В уравнении теплопроводности распишем производную и сгруппируем слагаемые. В итоге получим равенство:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{x^2}{2v} (\theta^2)_{qq} + (\theta^2)_q - \frac{x^2 v_q}{2v^2} (\theta^2)_q + \frac{\partial}{\partial q} \left(\frac{x^2 c_q}{v} \right) + \frac{3}{4} \frac{(\theta^2)_q}{\theta^{1/2}} \frac{x^2 c_q}{v} -$$

$$-\frac{\theta}{v} \frac{\partial}{\partial q}(xu) + \frac{1}{v} \left(\frac{\partial}{\partial q}(xu) \right)^2 - 3uu_q + cg.$$

Умножением его на $\theta(\theta^2)_{xx}$ и интегрированием по Q выводится оценка:

$$\max_{0 \leq t \leq T} \int_0^b \left(\frac{\partial \theta}{\partial q} \right)^2 dq + \int_0^T \int_0^b \left[\left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial q^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right)^2 \right] dq d\tau \leq N_{19}.$$

Отсюда вытекает ограниченность температуры.

$$M_\theta(t) \leq N_{20}, \quad \forall t \in [0, T].$$

Из оценки (13) и второго уравнения системы (1) имеем:

$$\max_{0 \leq t \leq T} \int_0^b \left(\frac{\partial c}{\partial q} \right)^2 dq + \int_0^T \int_0^b \left[\left(\frac{\partial^2 c}{\partial q^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right)^2 \right] dq d\tau \leq N_{21}.$$

Таким образом, получены все оценки, необходимые для доказательства существования обобщенного решения. Единственность доказывается составлением однородного уравнения относительно разности двух совместных решений аналогично /4, 5/.

Теорема полностью доказана.

Список литературы

1. Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Система квазилинейных уравнений и их применения к газовой динамике. — М.: Наука, 1978. — 667 с.
2. Петров А.Н. Краевые задачи для уравнений одномерного нестационарного течения реагирующей смеси газов // Динамика сплошной среды. — 1993. — Вып. 107. — С. 112–123.
3. Антонцев С.Н., Кажихов А.В., Монахов В.Н. Краевые задачи механики неоднородных жидкостей. — Новосибирск: Наука, 1983. — 319 с.
4. Николаев В.Б. Глобальная разрешимость уравнений движения вязкого газа с осевой и сферической симметрией // Динамика сплошной среды. — 1983. — Вып. 63. — С. 136–141.
5. Искендерова Д.А. Разрешимость одной модели реагирующей смеси газов // Асимптотические, топологические и компьютерные методы в математике: Тр. Междунар. науч. конф. // Вестн. Кыргызск. гос. нац. ун-та. Сер.3. Естественно-техн. науки. — 2001. — Вып. 6. — С. 217–221.

УДК 537.84

Г.Б.Шеръязданов

ЛАМИНАРНЫЕ ДВУХФАЗНЫЕ СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКИХ СРЕД В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Принципиальные возможности использования электромагнитного поля в целях управления процессами в электропроводящих средах объясняют интерес

к исследованию магнитогидродинамических (МГД) и электрогидродинамических (ЭГД) течений вязких сред, в том числе и струйных.

Классические (однофазные) струи достаточно изучены /1/ и послужили основой для рассмотрения более сложных моделей, в частности, двухфазных струйных течений, например /3, 4/ и др.

Двухфазные струйные течения имеют место в установках, в которых рабочей средой является струя проводящей (непроводящей) вязкой жидкости, несущая дисперсные непроводящие (заряженные) твердые частицы. Работа таких устройств может протекать при непосредственном воздействии на среду электромагнитного поля.

Моделирование двухфазного струйного течения вязкой среды (несущая фаза), содержащей твердые частицы (дисперсная фаза), осуществляется в рамках модели двух взаимопроникающих континуумов /2, 5/.

Математическая модель плоского стационарного ламинарного пограничного слоя включает уравнения неразрывности и движения для несущей фазы с учетом сил межфазного взаимодействия и силы магнитного поля (для случая проводящей среды), соответствующие уравнения для дисперсной фазы (идеальный совершенный газ) с учетом силы межфазного взаимодействия и электростатической силы (для случая заряженных частиц), а также уравнения Максвелла для электромагнитного поля.

1. Ламинарная двухфазная струя вязкой жидкости с заряженными частицами в электрическом поле

Рассматривается плоская стационарная струя вязкой несжимаемой непроводящей жидкости, содержащей мелкие диэлектрически проницаемые твердые частицы, истекающая из сопла конечной ширины $2a$ со скоростью U_1 в спутный поток (U_2) тех же физических свойств, что и несущая фаза. Струя развивается в продольном электрическом поле напряженности E_0 .

Предполагается, что в области течения до начала смешения ($x \leq 0$) процесс релаксации фаз завершен, т.е. в сопле частицы также движутся со скоростью U_1 , а в спутном потоке – со скоростью U_2 . Начальная плотность дисперсной фазы в сопле ρ_{s1} и ρ_{s2} соответственно.

Система уравнений плоской стационарной ламинарной двухфазной струи вязкой несжимаемой непроводящей жидкости (несущая фаза) с заряженными твердыми частицами (дисперсная фаза) в безразмерных переменных имеет вид

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + Q k_s \rho_s (u_s - u), \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial(\rho_s u_s)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_s v_s)}{\partial y} = 0, \quad (1.2), (1.3)$$

$$u_s \frac{\partial u_s}{\partial x} + v_s \frac{\partial u_s}{\partial y} = Q(u - u_s) + N_e \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{E^2}{2} \right), \quad (1.4)$$

$$u_s \frac{\partial v_s}{\partial x} + v_s \frac{\partial v_s}{\partial y} = Q(v - v_s) + N_e \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{E^2}{2} \right), \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = 0. \quad (1.6), (1.7)$$

Здесь $Re = U_2 a / \nu$ — число Рейнольдса, $N_e = E_0^2 a e / U_2^2 m_0$ — параметр электрической восприимчивости, $Q = qa / U_2$ — динамический параметр межфазного взаимодействия, $k_s = \rho_{s0} / \rho_s$ — отношение начальной плотности дисперсной фазы к плотности несущей фазы, $m = U_2 / U_1$ — параметр спутности, e — заряд частицы, m_0 — масса частицы, $m_p = \rho_{s2} / \rho_{s1}$.

Граничные условия имеют вид:

в области индивидуального движения потоков ($x \leq 0$)

$$|y| \leq a, \quad u = u_s = \frac{1}{m}, \quad v = v_s = 0, \quad \rho_s = \frac{1}{m_p}, \quad E_x = 1, \quad E_y = 0; \quad (1.8)$$

$$|y| > a, \quad u = u_s = 1, \quad v = v_s = 0, \quad \rho_s = 1, \quad E_x = 1, \quad E_y = 0;$$

в области смешения потоков ($x > 0$)

$$y = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial u_s}{\partial y} = 0, \quad v = v_s = 0, \quad \frac{\partial \rho_s}{\partial y} = 0; \quad (1.9)$$

$$y \rightarrow \pm\infty, \quad u = 1, \quad \rho_s = 1.$$

В предположении малого различия искоемых характеристик в струе и в спутном потоке методом малых возмущений проводится линеаризация основных уравнений. В частности, представим продольные скорости фаз и плотность дисперсной фазы в виде

$$u = 1 + \varepsilon(x, y), \quad u_s = 1 + \varepsilon_s(x, y), \quad \rho_s = 1 + \beta(x, y), \quad (1.10)$$

$$E_x = 1 + e_x, \quad E_y = e_y$$

где $\varepsilon, \varepsilon_s$ и e_x, e_y — малые добавки к скоростям и к компонентам напряженности электрического поля фаз, β — малая добавка к плотности дисперсной фазы.

Подставляя (1.10) в уравнения (1.1)-(1.7) и сохраняя величины первого порядка малости, получаем систему линейных дифференциальных уравнений

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial y^2} + Q k_s (\varepsilon_s - \varepsilon), \quad (1.11)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \beta}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x} + \frac{\partial v_s}{\partial y} = 0, \quad (1.12), (1.13)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x} = Q (\varepsilon - \varepsilon_s) + N_e \frac{\partial e_x}{\partial x}, \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial v_s}{\partial x} = Q (v - v_s) + N_e \frac{\partial e_x}{\partial y}, \quad (1.15)$$

$$\frac{\partial e_x}{\partial x} + \frac{\partial e_y}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial e_y}{\partial x} - \frac{\partial e_x}{\partial y} = 0. \quad (1.16), (1.17)$$

Граничные условия (1.8)-(1.9) в первом приближении приводятся к виду:

$$x \leq 0: \begin{cases} |y| \leq 1: \varepsilon = \varepsilon_s = \frac{1-m}{m}, \quad v = v_s = 0, \quad \beta = \frac{1-m_p}{m_p}, \quad e_x = 0, \quad e_y = 0; \\ |y| > 1: \varepsilon = \varepsilon_s = 0, \quad v = v_s = 0, \quad \beta = 0, \quad e_x = 0, \quad e_y = 0. \end{cases} \quad (1.18)$$

$$x > 0: \begin{cases} y = 0: \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \beta}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial e_x}{\partial y} = 0; \\ y \rightarrow \pm \infty: \varepsilon = \varepsilon_s = 0, \quad \beta = 0, \quad e_x = 0, \quad e_y = 0. \end{cases} \quad (1.19)$$

Анализ результатов численного расчета [5] показывает, что с ростом параметра электрической восприимчивости N_e имеет место наполнение профилей продольной компоненты скорости дисперсной фазы (рис. 1.1). Профиль скорости несущей фазы в силу ее непроводимости незначительно изменяется (рис. 1.2). При увеличении параметра межфазного взаимодействия Q происходит сближения профилей скоростей фаз.

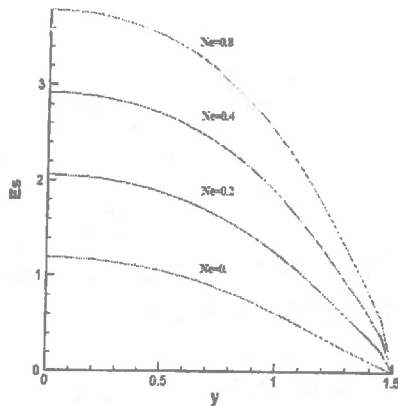


Рис. 1.1. Распределение малых возмущений продольной скорости дисперсной фазы при различных значениях N_e

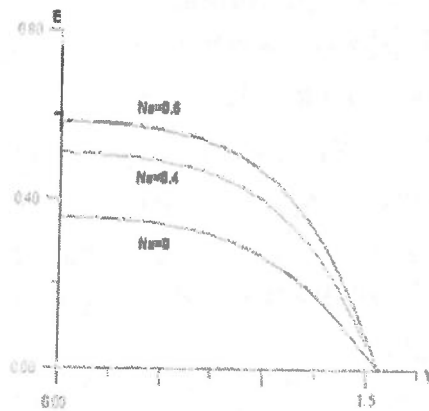


Рис. 1.2. Распределение малых возмущений продольной скорости несущей фазы при различных значениях N_e

2. Ламинарная двухфазная пристенная струя проводящей жидкости в спутном потоке в поперечном магнитном поле

Рассматривается задача об истечении ламинарной струи вязкой несжимаемой слабопроводящей жидкости вблизи движущейся твердой стенки со скоростью спутного потока U_2 и содержащей непроводящие дисперсные частицы из сопла конечной ширины $2a$ со скоростью U_1 в однородный спутный поток U_2 с теми же физическими свойствами в присутствии однородного поперечного магнитного поля напряженности H_0 . В области до начала смещения ($x < 0$) в сопле и спутном потоке скорости движения частиц также соответственно U_1 и U_2 , а плотность дисперсной фазы в струе и в

спутном потоке ρ_{s0} . Проводимость в слое смешения принимается постоянной, т.е. $\sigma = \text{const}$.

В рамках двухскоростной модели взаимопроникающих континуумов система уравнений плоского стационарного двухфазного ламинарного пограничного слоя в безразмерных переменных имеет вид

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + Q k_p \rho_s (u_s - u) + N(1 - u), \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial(\rho_s u_s)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_s v_s)}{\partial y} = 0, \quad (2.3)$$

$$u_s \frac{\partial u_s}{\partial x} + v_s \frac{\partial u_s}{\partial y} = Q(u - u_s), \quad (2.4)$$

$$u_s \frac{\partial v_s}{\partial x} + v_s \frac{\partial v_s}{\partial y} = Q(v - v_s). \quad (2.5)$$

Граничные условия:

$$\begin{aligned} x \leq 0: |y| \leq 1, \quad u = u_s = 1/m, \quad v = v_s = 0, \quad \rho_s = 1; \\ |y| > 1, \quad u = u_s = 1, \quad \rho_s = 1; \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} x > 0: y = 0, \quad u = u_s = 1, \quad \rho_s = 1; \\ y \rightarrow \infty, \quad u = u_s = 1, \quad \rho_s = 1. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Здесь u, v, u_s, v_s — составляющие векторов скоростей соответственно несущей и дисперсной фаз; ρ_{s0} — плотность несущей и дисперсной фаз

$$\text{Re} = \frac{U_2 a}{\nu}, \quad Q = \frac{q a}{U_2}, \quad k_p = \frac{\rho_{s0}}{\rho}, \quad N = \frac{\sigma \mu_e^2 H_0^2}{\rho U_2}, \quad m = \frac{U_2}{U_1}; \quad (2.8)$$

q — коэффициент динамического межфазного взаимодействия, Q — параметр межфазного взаимодействия, N — параметр магнитного взаимодействия.

Методом малых возмущений представим скорости фаз и плотность дисперсной фазы в виде

$$u = 1 + \varepsilon(x, y), \quad u_s = 1 + \varepsilon_s(x, y), \quad \rho_s = 1 + \beta(x, y). \quad (2.9)$$

Линеаризованные с помощью (2.9) уравнения (2.1) — (2.5) в первом приближении имеют вид

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial y^2} + Q k_p m_p (\varepsilon_s - \varepsilon) - N \varepsilon, \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \beta}{\partial x} = - \left(\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x} + \frac{\partial v_s}{\partial y} \right), \quad (2.11), (2.12)$$

$$\frac{\partial v_s}{\partial x} = Q(v - v_s), \quad \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x} = Q(\varepsilon - \varepsilon_s). \quad (2.13), (2.14)$$

Граничные условия:

$$\begin{aligned} x \leq 0: |y| \leq 1, \quad \varepsilon = \varepsilon_s = \frac{1-m}{m}, \quad \beta = 0; \\ |y| > 1, \quad \varepsilon = \varepsilon_s = 0, \quad \beta = 0. \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$x > 0: y=0, \varepsilon=\varepsilon_s=0, \beta=0; y \rightarrow \infty, \varepsilon=\varepsilon_s=0, \beta=0. \quad (2.16)$$

Анализ результатов численного расчета [5] показывает, что с увеличением параметра МГД взаимодействия N имеет место торможение струйного течения (рис. 2.1), причем торможение несущей фазы происходит значительно интенсивнее, чем торможение дисперсной фазы (рис. 2.2). При увеличении параметра межфазного взаимодействия Q происходит сближение профилей u и u_s , следовательно, ускорение релаксации скоростей фаз.

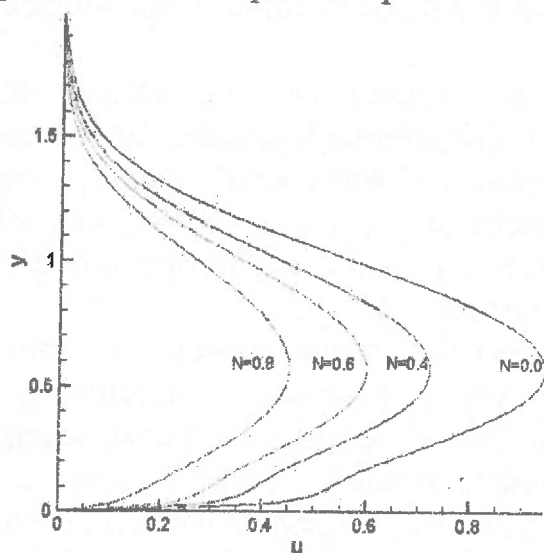


Рис. 2.1. Распределение продольной скорости при различных значениях N ($Q=1$)

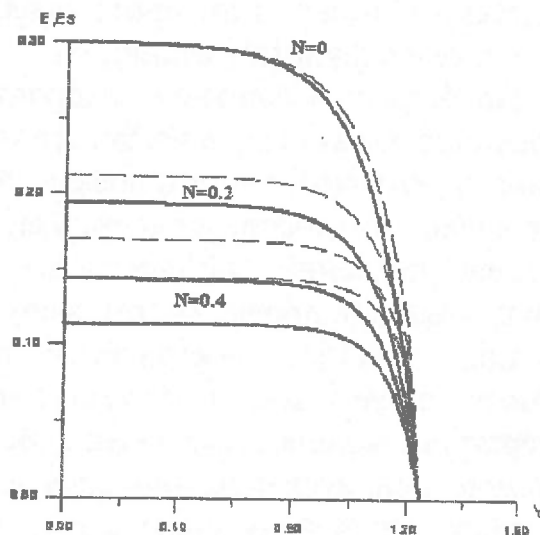


Рис. 2.2. Распределение малых возмущений продольных скоростей несущей (сплошные линии) и дисперсной (штриховые линии) фаз при различных значениях N ($Q=1$)

Список литературы

1. Щербинин Э.В. Струйные течения вязкой жидкости в магнитном поле. — Рига: Зинатне, 1973. — 303 с.
2. Sheryazdanov G.B. The laminar of two-phase jet flows of the conducting and polarization mediums in electromagnetically fields // Magnetohydrodynamics. — 2002. — Vol.38, N 4. — P.427-430.
3. Гогосов В.В., Налетова В.А., Шапошникова Г.А. Диффузионная и многоскоростная модели двухфазных сред в электрическом поле // Прикладная математика и механика. — 1980. — Т. 4. — № 2. — С.290-300.
4. Нигматуллин Р.Н. Основы механики гетерогенных сред. — М.: Наука, 1978. — 336 с.
5. Шерязданов Г.Б., Алимжанова С.К., Неволлина Е.В. Ламинарные двухфазные струйные течения вязких сред в электромагнитном поле // Актуальные проблемы механики и машиностроения: материалы III межд. научн. конф., 17-19 июня 2009 г., КазНТУ. — Алматы: Эверо, 2009. — Т.1. — С. 351-355.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОЙ ДВУХФАЗНОЙ СТРУИ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОВОДИМОСТИ В СПУТНОМ ПОТОКЕ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Принципиальные возможности использования эффектов магнитной гидродинамики (МГД) для воздействия на поток в целях управления процессами объясняют интерес к исследованию МГД-течений вязкой жидкости, в том числе и струйных течений /1/.

Проблемы магнитной гидродинамики выдвинули ряд новых задач прикладного характера, в частности, систем с двухфазной средой. Двухфазные течения имеют место в установках, в которых рабочей средой является струя проводящей жидкости, содержащей дисперсные частицы. В работах /2,3/ проведено численное исследование плоской ламинарной двухфазной МГД-струи постоянной проводимости в спутном потоке.

Как известно, электрическая проводимость среды зависит от многих факторов и условий, в которых формируется течение, в частности, от температуры, концентрации веществ и т.д. Так, с целью упрощения анализа, например, при исследовании слоя смешения параллельных МГД-потоков /4/ принималась линейная зависимость проводимости от продольной скорости. В работе /5/ проводимость среды рассмотрена как линейная функция от температуры.

В работе рассматривается задача об истечении ламинарной струи вязкой несжимаемой слабопроводящей жидкости, имеющей температуру T_1 и содержащей непроводящие дисперсные частицы из сопла конечной ширины $2a$ со скоростью U_1 в однородный спутный поток (U_2, T_2) с теми же физическими свойствами в присутствии однородного поперечного магнитного поля напряженности H_0 . В области до начала смешения ($x < 0$) в сопле и спутном потоке скорости движения и температуры частиц также соответственно U_1, U_2 и T_1, T_2 , а плотность дисперсной фазы в струе в спутном потоке ρ_{s0} . Проводимость в слое смешения принимается линейно зависящей от температуры, т.е. $\sigma = \sigma_0 + k_0 T$, где σ_0 и k_0 – эмпирические постоянные.

В рамках двухскоростной и двухтемпературной модели взаимопроникающих континуумов система уравнений плоского стационарного двухфазного ламинарного пограничного слоя в случае переменной проводимости и с учетом джоулевого тепла в безразмерных переменных имеет вид:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + Q k_p \rho_s (u_s - u) + N(1 + kT)(1 - u), \quad (1)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{RePr} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + Q_T \gamma k_p \rho_s (T_s - T) + EcN(1 + kT)(u^2 - 1), \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho_s u_s)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_s v_s)}{\partial y} = 0, \quad (4)$$

$$u_s \frac{\partial u_s}{\partial x} + v_s \frac{\partial u_s}{\partial y} = Q(u - u_s), \quad u_s \frac{\partial v_s}{\partial x} + v_s \frac{\partial v_s}{\partial y} = Q(v - v_s), \quad (5), (6)$$

$$u_s \frac{\partial T_s}{\partial x} + v_s \frac{\partial T_s}{\partial y} = Q_T(T - T_s), \quad (7)$$

Граничные условия для рассматриваемой задачи имеют вид:

а) в области индивидуального движения струи и спутного потока

$$x \leq 0: \begin{cases} |y| \leq a, u = u_s = 1/m, v = v_s = 0, \rho_s = 1, T = T_s = 1/m_T \\ |y| > a, u = u_s = 1, v = v_s = 0, \rho_s = 1, T = T_s = 1; \end{cases} \quad (8)$$

б) в области взаимодействия струи и спутного потока

$$x > 0: \begin{cases} y = 0, \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial u_s}{\partial y} = 0, \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial T_s}{\partial y} = 0, v = v_s = 0, \frac{\partial \rho_s}{\partial y} = 0, \\ y \rightarrow \pm\infty, u = u_s = 1, T = T_s = 1, \rho_s = 1. \end{cases} \quad (9)$$

Здесь u, v и u_s, v_s — составляющие векторов скоростей соответственно несущей и дисперсной фаз; T, T_s и ρ, ρ_s — соответственно температуры и плотности несущей и дисперсной фаз;

$$Re = U_2 a / d, \quad Q = q \cdot a / U_2, \quad k_p = \rho_{s0} / \rho, \quad N = \sigma_0 \mu_e^2 H_0^2 / \rho U_2, \quad Ec = \frac{U_2^2}{c_p T_2},$$

$$Pr = \nu / a_T, \quad Q_T = q_T a / U_2, \quad \gamma = c_s / c_p, \quad m = U_2 / U_1, \quad m_T = T_2 / T_1; \quad k = k_0 T_2 / \sigma_0.$$

В предположении малого различия искомых величин в струе и в спутном потоке представим скорости и температуры фаз и плотность дисперсной фазы методом малых возмущений в виде

$$u = 1 + \varepsilon(x, y), \quad u_s = 1 + \varepsilon_s(x, y), \quad (10)$$

$$T = 1 + \theta(x, y), \quad T_s = 1 + \theta_s(x, y), \quad \rho_s = 1 + \beta(x, y),$$

где $\varepsilon, \varepsilon_s, \theta, \theta_s, \beta$ — малые добавки к соответствующим характеристикам.

Линеаризованная с помощью (10) система уравнений (1)–(7) в первом приближении имеет вид

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial y^2} + Q k_p (\varepsilon_s - \varepsilon) - N(1 + k)\varepsilon, \quad (11)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{1}{Pr Re} \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + Q_T \gamma \cdot k_p m_p (\theta_s - \theta) + Ec N(1 + k)\varepsilon, \quad (12)$$

$$v = - \int_0^y \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} dy, \quad \frac{\partial \beta}{\partial x} = - \left(\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x} + \frac{\partial v_s}{\partial y} \right), \quad (13), (14)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x} = Q(\varepsilon - \varepsilon_s), \quad (15)$$

$$\frac{\partial V_s}{\partial x} = Q(v - v_s), \quad (16)$$

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial x} = Q_T(\theta - \theta_s), \quad (17)$$

Граничные условия для полученной системы уравнений имеют вид

$$x \leq 0: \begin{cases} |y| \leq 1, \varepsilon = \varepsilon_s = (1-m)/m, \theta = \theta_s = (1-m_T)/m_T, \beta = 0, \\ |y| > 1, \varepsilon = \varepsilon_s = 0, \theta = \theta_s = 0, \beta = 0; \end{cases} \quad (18)$$

$$x > 0: \begin{cases} y = 0, \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial y} = 0, v = v_s = 0, \frac{\partial \beta}{\partial y} = 0, \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{\partial \theta_s}{\partial y} = 0, \\ y \rightarrow \pm\infty, \varepsilon = \varepsilon_s = 0, \beta = 0, \theta = \theta_s = 0. \end{cases} \quad (19)$$

Численное решение линеаризованных уравнений движения и притока тепла несущей и дисперсной фаз при соответствующих граничных условиях (18) и (19) проводится методом прогонки.

Анализ результатов показывает, что с увеличением параметра МГД-взаимодействия N имеет место торможение струйного течения, причем торможение несущей фазы происходит значительно интенсивнее, чем торможение дисперсной фазы. Вместе с тем, в случае переменной проводимости ($\sigma=1+kT$) с увеличением параметра проводимости k происходит более заметное торможение несущей фазы (рис.1) по сравнению со случаем постоянной проводимости [2, 3]. С увеличением параметра МГД-взаимодействия N имеет место деформация профилей температуры несущей фазы во всей области смещения (рис. 2).

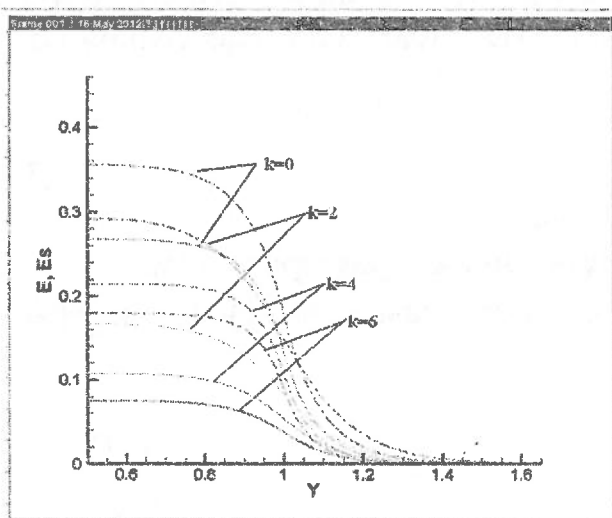


Рис. 1. Распределение малых возмущений E и E_s в при фиксированном $N=0,2$ и различных k

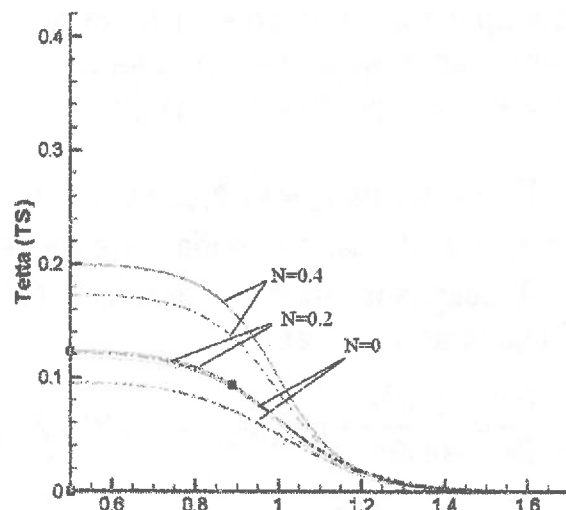


Рис. 2. Распределение малых возмущений температуры θ и θ_s в зависимости от параметра N

Список литературы

1. Щербинин Э.В. Струйные течения вязкой жидкости в магнитном поле. – Рига: Зинатне, 1973. – 303 с.
2. Сагаутдинов Ш.Ш., Шерязданов Г.Б. Численное исследование двухфазной струи в спутном потоке в поперечном магнитном поле // Магнитная гидродинамика. – 1992. – № 4. – С. 65-68.
3. Сагаутдинов Ш.Ш., Шерязданов Г.Б. Теплообмен двухфазной струи в спутном потоке в поперечном магнитном поле // Магнитная гидродинамика. – 1993. – № 2. – С. 116-119.
4. Чуркина О.И., Шерязданов Г.Б. Ламинарное смешение параллельных потоков несжимаемой жидкости переменной проводимости в поперечном магнитном поле // Магнитная гидродинамика. – 1980. – № 4. – С. 49-52.
5. Сагаутдинов Ш.Ш., Шерязданов Г.Б. Ламинарное смешение МГД-потоков с переменной проводимостью в поперечном магнитном поле // Магнитная гидродинамика. – 1985. – № 2. – С. 132-135.

УДК 532.517.4

А.Ы.Курбаналиев

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В ПАКЕТЕ OpenFOAM

В данной работе приведены основные моменты метода математического моделирования крупномасштабных течений в местностях со сложным рельефом. Основу трехмерного нестационарного моделирования составляют осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса. Для отслеживания положения свободной границы применялся метод объема жидкости. Адекватность математической модели проверяется путем сравнения с экспериментальными данными, а эффективность технологии иллюстрируется на примере моделирования прорыва плотин Папанского и Камперабадского водохранилищ вблизи города Ош (Кыргызстан).

Введение

По числу повторяемости, площади распространения и ежегодному материальному ущербу среди природных стихийных катаклизмов затопление водой местности и населенных пунктов занимают первое место. Более того, в последние годы в нашей республике и в мире в целом отмечается рост числа и масштабов наводнений и связанных с ними социально-экономических проблем.

Математическое моделирование с применением современных прикладных пакетов вычислительной гидродинамики является эффективным инструментом прогнозирования различных техногенных и природных явлений. В данное время особенно актуальным является моделирование прорыва плотины с последующим образованием селевых потоков и наводнением

расположенных ниже по потоку населенных пунктов и промышленных объектов.

В данной работе ставится задача прогнозирования последствий крупномасштабной техногенной ситуации, связанной с разрушением плотин на примере Папанского и Камперабадского водохранилищ. При этом необходимо особо подчеркнуть, что это не является моделированием реального прорыва дамбы, а показывают принципиальную возможность моделирования рассматриваемого класса течений методами вычислительной гидродинамики при наличии необходимых геофизических и топографических данных. Работа выполнена в рамках обменной программы Фулбрайт государственного департамента США совместно с профессором Грегом Олифантом (Greg Olyphant) из университета Индианы, Блумингтон, США.

Математическая модель

Законы сохранения массы и импульса для несжимаемой вязкой жидкости приводят к следующим нестационарным уравнениям Навье-Стокса:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{u'_i u'_j}) + \sigma K \frac{\partial \alpha}{\partial x_i} \bigg/ \left| \frac{\partial \alpha}{\partial x_i} \right|$$

где u_i — компонента средней скорости в направлении x_i , ρ — плотность, p — среднее давление, ν — кинематическая вязкость, σ — коэффициент поверхностного натяжения, K — кривизна поверхности. Усреднение производится по времени, а штрих означает флуктуационную часть. В принятой модели турбулентности используется приближение Буссинеска, согласно которому напряжения Рейнольдса — $\overline{u'_i u'_j}$ аппроксимируются при

помощи следующей формулы: $-\overline{u'_i u'_j} = 2\nu_t S_{ij} - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$, где $S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ и

$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ — турбулентная вязкость. Кинетическая энергия турбулентности k и скорость ее диссипации ε определяются из следующих транспортных уравнений:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \nu_t S^2 - \varepsilon$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \nu_t S^2 - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

где $S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$, коэффициенты модели имеют следующие стандартные значения: $C_\mu = 0.09$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$.

Объемная доля несжимаемой фазы удовлетворяет следующим условиям:

$$\alpha = \begin{cases} 1, & \text{если контрольный объем занят водой,} \\ 0, & \text{если контрольный объем занят воздухом,} \\ 0 < \alpha < 1, & \text{если контрольный объем занят смесью воды и воздуха} \end{cases}$$

Поэтому физические свойства газожидкостной смеси определяются усреднением с соответствующим весовым коэффициентом:

$$\rho = \alpha \rho_1 + (1 - \alpha) \rho_2, \mu = \alpha \mu_1 + (1 - \alpha) \mu_2.$$

Здесь индексы 1 и 2 соответствуют жидкой и газовой фазе соответственно.

Суть метода VolumeofFluid (VOF) пакета OpenFOAM/1/ заключается в том, что граница раздела двух фаз не вычисляется явно, но до некоторой степени, определяется как свойство поля объемной доли воды. Так как значения объемной доли заключены между 0 и 1, фазовая граница не определяется точно, однако, она занимает некоторую область, где поблизости должна существовать резкая межфазная граница.

Положение свободной границы определяется уравнением: $\alpha(x, y, z, t) = 0$. Изменение свободной поверхности во времени определяется следующим скалярным уравнением переноса: $\frac{\partial \alpha}{\partial t} + u_i \frac{\partial \alpha}{\partial x_i} = 0$.

Начальные значения. Для нестационарной задачи необходимо задание начальных значений всех зависимых переменных. Значения всех компонент скорости равны нулю, так как по условию рассматриваемой задачи до момента времени $t = 0$ движение отсутствовало. Давление тоже равно нулю. Кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации имеют некоторое малое значение, которое обеспечивает хорошую сходимость численного решения на первых шагах интегрирования. Начальное распределение объемной доли α было неоднородным (см. рис. 1).

Граничные условия. На твердых стенках расчетной области задано условие прилипания, что дает условие равенства нулю всех компонент вектора скорости. Для давления и объемной доли воды заданы условия непроницаемости (условие Неймана $-\nabla = 0$ и $\nabla_n = 0$); для кинетической энергии турбулентности k и скорости ее диссипации ϵ граничные условия задавались при помощи аппарата пристеночных функций. Влияние сил поверхностного натяжения между твердой стенкой и газожидкостной смесью в данной работе не учитывалось.

На свободной границе заданы нулевые значения для давления, объемной доли воды и всех компонент скорости.

Дискретизация основных уравнений. Дискретизация расчетной области получается методом контрольных объемов, который обеспечивает строгое соблюдение законов сохранения, и основные понятия метода напрямую соответствуют таким физическим величинам, как массовый расход, поток и т.д. /2/.

Первой тестовой задачей является задача о разрушении столба жидкости в горизонтальном канале прямоугольного сечения. В начальный момент

времени прямоугольный столб вязкой несжимаемой жидкости находится в состоянии покоя. Под действием силы тяжести столб начинает обрушаться. Начальная геометрия области показана на рис. 1.

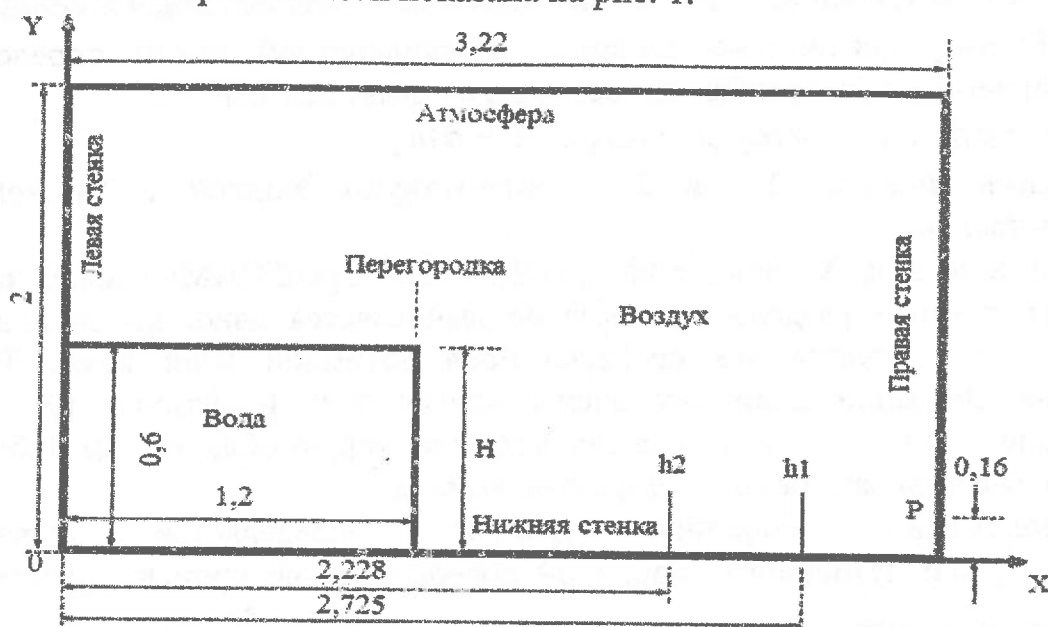


Рис. 1. Геометрия тестовой задачи и граничные условия

Сравнение численных результатов с экспериментальными данными работы /3/ представлено на рис. 2, где маркеры соответствуют экспериментальным данным.

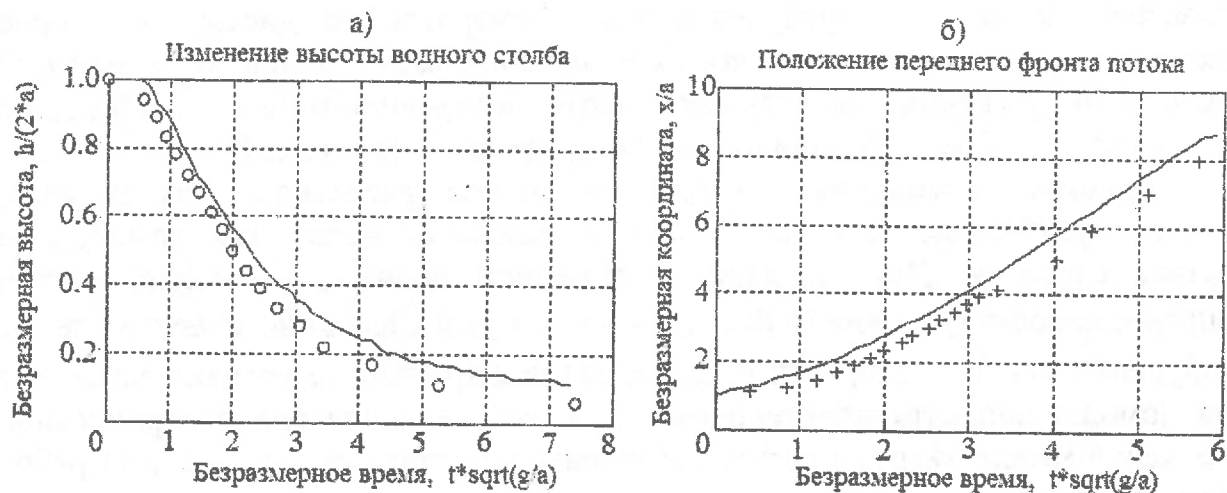


Рис. 2. Сравнение численных и экспериментальных данных

Следующей тестовой задачей является более усложненная задача обрушения столба жидкости в резервуаре прямоугольной формы с препятствием /4/.

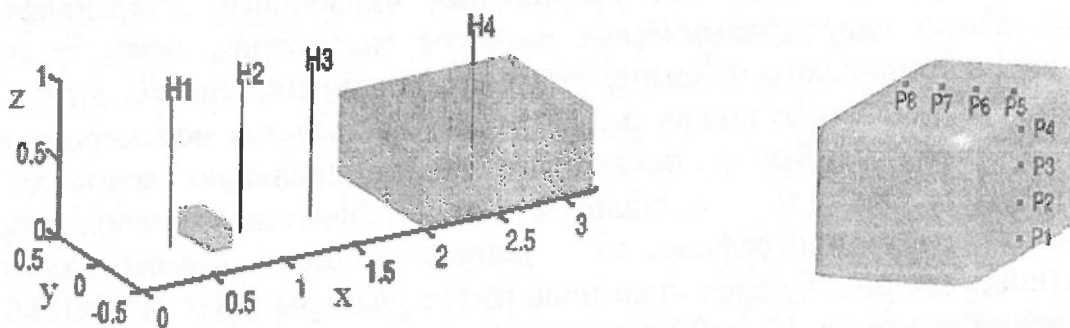


Рис. 3. Геометрия второй тестовой задачи и расположение измерительных датчиков

На рис. 4 приведена высота водного потока в двух различных точках: в резервуаре Н4 и в непосредственной близости контейнера Н2.

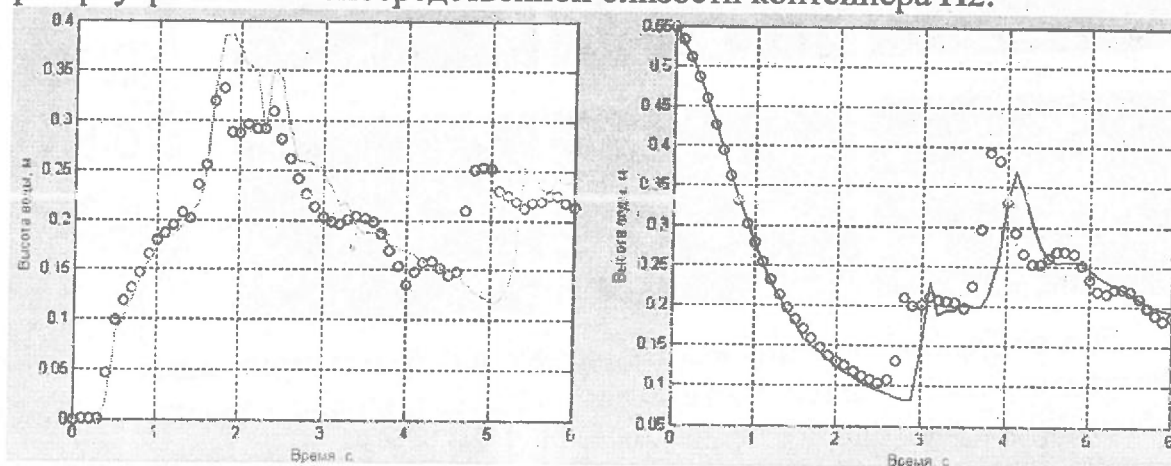


Рис. 4. Высоты водного потока в точках Н2 (слева) и Н4 (справа)

Как видно из рис. 5, момент времени $t=0,5$ с, когда волна достигает контейнера, предсказан с хорошей точностью, однако величина давления по сравнению с экспериментальным значением несколько завышена (левый рисунок). Тем не менее, общий характер изменений численных и экспериментальных данных совпадает.

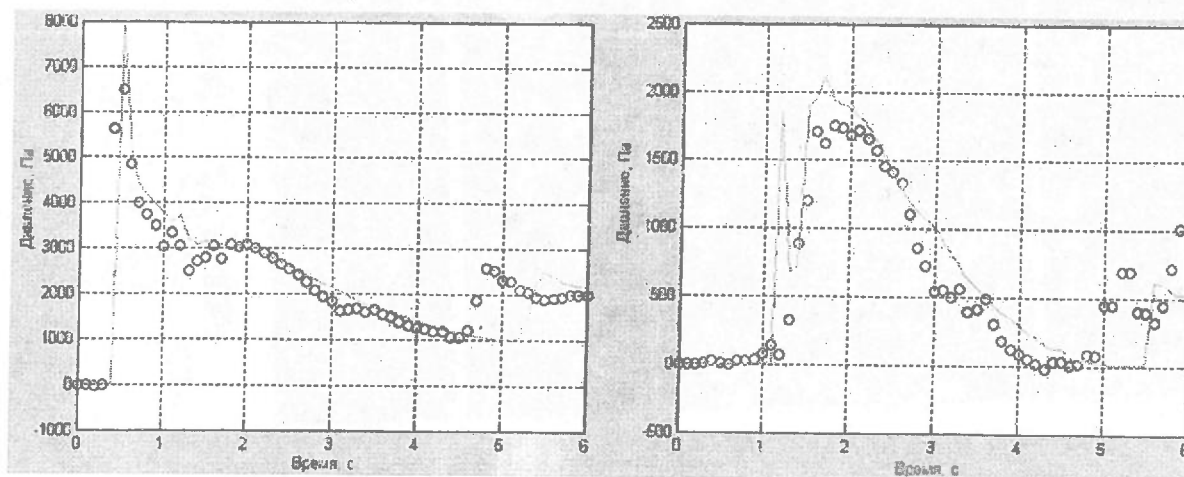


Рис. 5. Давление в точках P2 (слева) и P7 (справа)

Для иллюстрации способов применения численного моделирования крупномасштабных гидродинамических расчетов рассмотрим задачу расчета прорыва плотин Папанского и Камперабадского водохранилищ вблизи г. Ош. При этом необходимо особо подчеркнуть, что это не является моделированием реального прорыва дамбы, а показывают принципиальную возможность применения описываемой технологии при наличии необходимых геофизических и топографических данных. Для Камперабадского водохранилища (см. рис. 6) расчетное поле имеет размеры $6000 \times 4000 \times 1500$ м. Расчетное время для сетки $120 \times 120 \times 80$ около 9 часов.

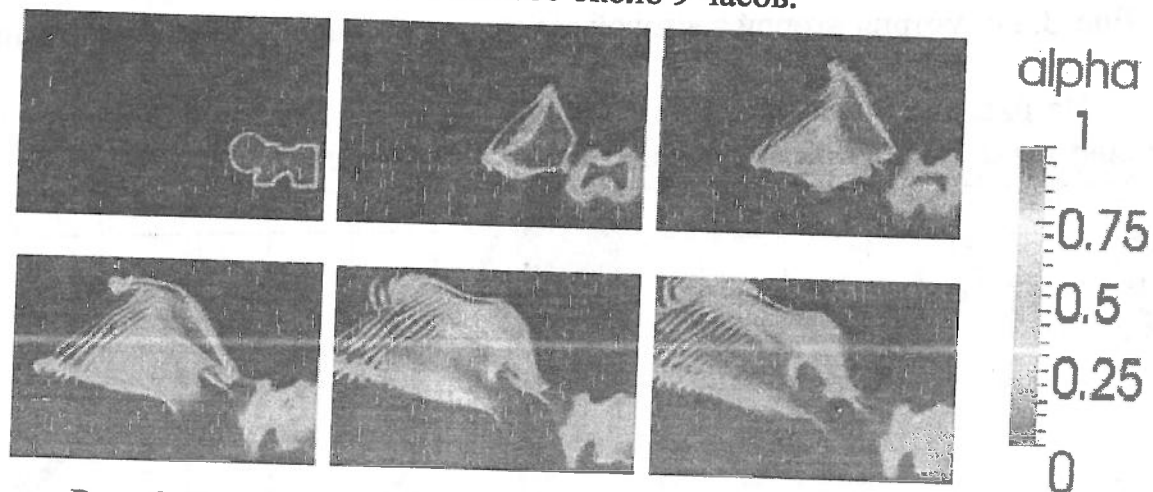


Рис. 6. Картина течения для Камперабадского водохранилища

Расчетное поле для Папанского водохранилища имеет размеры $5000 \times 5000 \times 1300$ м (см. рис. 7). Общее расчетное время в случае сетки $50 \times 60 \times 30$ составляет около 5 часов. В расчетах использовался компьютер Pentium ® Dual-Core CPU T4400 @2.20 GHz 2.87 Gb.

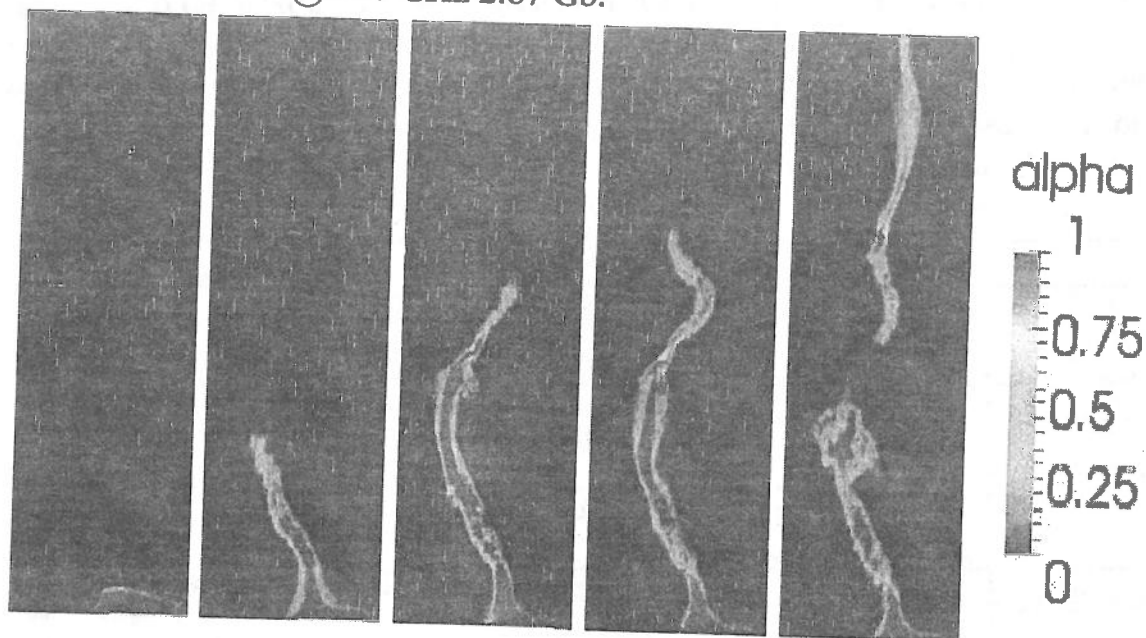


Рис. 7. Картина течения для Папанского водохранилища

Выводы

В работе представлены результаты математического моделирования сложных гидродинамических явлений на основе нестационарных трехмерных уравнений Навье-Стокса, описывающих динамику газожидкостной смеси со свободной границей. Адекватность применяемой модели проверена на примере классических задач вычислительной гидродинамики. Особое внимание уделено точности расчета уровня потока воды и давления газожидкостного потока на стенки резервуара.

Список литературы

1. www.openfoam.org. OpenFOAM 1.7.1. User Guide.
2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. J. Martin, W. Moyce, An experimental study of the collapse of liquid columns on a rigid horizontal plane, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences. Volume 244 No. 882, pp. 312–324.
4. K. M. T. Kleefsman, G. Fekken, A. E. P. Veldman, B. Iwanowski and B. Buchner. A Volume-of-Fluid based simulation method for wave impact problems. Journal of Computational Physics, volume 206, issue 1, June, 2005, pp.363-393.

УДК 532.536

У.К.Жапбасбаев, Б.К.Асилбеков, Т.Т.Бекибаев

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ

Введение. Гидродинамические методы воздействия путем вытеснения нефти водой считаются самыми простыми, распространенными и экономически выгодными для поддержания пластового давления /1-3/.

Гидродинамические методы воздействия на фильтрационные потоки в пластах осуществляются за счет изменения технологических режимов работы скважин, и включают: 1) смену направления фильтрационных потоков; 2) циклическое изменение давления в пластах; 3) форсированный отбор жидкости из скважин. Указанные методы направлены на извлечение того или иного вида остаточной нефти из пластов: из застойных зон с начальной нефтенасыщенностью – из целиков нефти; из низкопроницаемых зон пласта (или поровых матриц трещиновато-пористых пластов); использование так называемого эффекта срыва остаточной нефти, выражающегося в зависимости остаточной нефти от капиллярного числа.

Ниже излагаются результаты расчетов вытеснения нефти водой по геолого-физическим условиям объекта М-I месторождения Молдабек Восточный.

Постановка задачи. Расчет проводится в области, показанной на рис. 1, с двумя скважинами, которая выделена из геологической модели объекта М-I месторождения Молдабек Восточный (рис. 2).

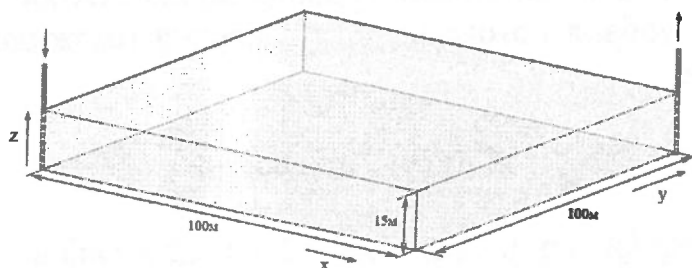


Рис. 1. Схема расчетной области

Объект М-I (рис. 2) содержит 8 скважин, из них 7 – добывающих, 1 – нагнетательная. Выделенная часть – горизонтальная, что является удобным для численного моделирования путем измельчения исходной сетки.

Рассмотрен режим разработки пласта, когда давление выше давления насыщения, что исключает выделение газовой фазы. В расчетах не учитывается изменение температуры. Течение флюидов в пористой среде описывается следующими уравнениями /4-6/:

$$\nabla \cdot [\lambda_o K (\nabla p_o - \rho_o g \nabla z)] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\phi(1-S_w)}{B_o} \right] + q_o, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot [\lambda_w K (\nabla p_o - \nabla p_{ow} - \rho_w g \nabla z)] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\phi S_w}{B_w} \right] + q_w, \quad (2)$$

где K – абсолютная проницаемость пласта, λ_o, λ_w – параметры подвижности нефти и воды, ϕ – пористость, S_w – водонасыщенность, p_o – давление нефти, q_o, q_w – притоки нефти и воды к скважине, B_o, B_w – объемные коэффициенты нефти и воды, z – вертикальная координата, ρ_o, ρ_w – плотности нефти и воды, g – ускорение свободного падения, t – время, p_{ow} – капиллярное давление. Замыкающие соотношения для системы (1), (2) определяются согласно /5/. На границах расчетной области (рис. 1) для давления и насыщенности ставятся условия непротекания.

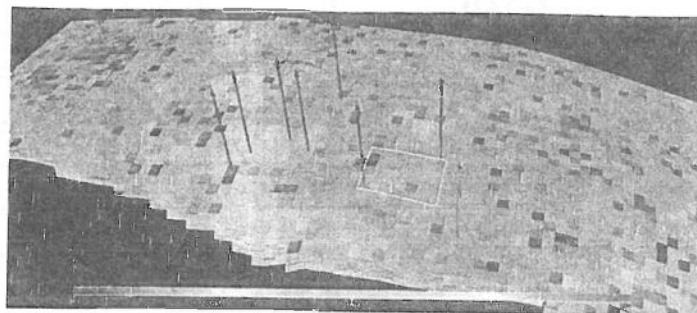


Рис. 2. Схема геологической модели объекта М-І месторождения Молдабек Восточный с расположением скважин

Численный метод решения и алгоритм расчета. Система уравнений (1)-(2) решается IMPES-методом /4-6/. Значение давления в каждом расчетном блоке находится с помощью метода последовательной верхней релаксации. Насыщенность определяется явным методом после вычисления давления. Затем пересчитываются капиллярное давление и межблочные проводимости, которые используются на следующем временном шаге.

Исходные данные для проведения численного эксперимента. В исследуемой области зависимости объемного коэффициента B_w , вязкости воды μ_w и пористости ϕ от давления задаются в виде:

$$B_w = 1,02 \left[1 + c_w (p_w - 2 \cdot 10^6) + 0,5 c_w^2 (p_w - 2 \cdot 10^6)^2 \right]^I, \quad (3)$$

$$B_w \mu_w = 1,029 \left[1 + c_\mu (p_w - 2 \cdot 10^6) + 0,5 c_\mu^2 (p_w - 2 \cdot 10^6)^2 \right]^I, \quad (4)$$

$$\phi = \phi_o \left[1 + c_\phi (p_o - 3,9 \cdot 10^6) + 0,5 c_\phi^2 (p_o - 3,9 \cdot 10^6)^2 \right], \quad (5)$$

где $c_w = 3,25 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$, $c_\mu = 2,39 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$, $c_\phi = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$.

Плотности нефти и воды выделенной области в стандартных условиях равны 889,5 и 1000,1 кг/м³, соответственно. Проницаемость по оси x изменяется в диапазоне от 514,49 мД до 4134,70 мД, по оси y – от 503,2 мД до 4240,1 мД и по оси z – от 53,0 мД до 420,9 мД. Пористость изменяется в диапазоне от 0,17 до 0,40. Зависимости фазовых проницаемостей и капиллярного давления от насыщенности воды даны в табл. 1, а в табл. 2 представлены зависимости объемного коэффициента B_o и вязкости μ_o нефти от давления.

Таблица 1
Зависимость относительных фазовых проницаемости и капиллярного давления от насыщенности воды

S_w , д.ед.	k_{rw} , д.ед.	k_{row} , д.ед.	p_{ow} , Па
0,10	0	1,000	5000
0,15	0,022	0,600	3000
0,20	0,045	0,350	1800
0,25	0,070	0,200	1150
0,30	0,100	0,110	750

0,35	0,140	0,060	500
0,40	0,190	0,020	300
0,45	0,270	0,006	160
0,50	0,380	0,000	90
0,55	0,500	0,000	60
1,00	1,000	0,000	0

Таблица 2

Зависимость объемного коэффициента и вязкости нефти от давления

p_o , Па	B_o , м ³ /м ³	μ_o , Па·с
1664300	1,0069266	0,1197
2000000	1,0069265	0,12043
2706300	1,0069262	0,12231
3227200	1,0069260	0,12395
3748200	1,0069258	0,12579
4269200	1,0069256	0,12781
5311200	1,0069252	0,13235
5832100	1,0069250	0,13485
6874100	1,0069245	0,14031
7395100	1,0069243	0,14326
8437100	1,0069239	0,14958
8958000	1,0069237	0,15296
9479000	1,0069235	0,15647
10000000	1,0069233	0,16012

Анализ и обсуждение результатов расчета. На рис. 3 показано развитие изоповерхностей насыщенности воды в различные моменты времени в анизотропном по глубине пласте при однородном распределении проницаемости и пористости на горизонтальной плоскости. Фронт водонефтяного контакта на верхней плоскости движется с большей скоростью, чем в нижележащих плоскостях. Это объясняется снижением проницаемости и пористости по оси z . Изоповерхности насыщенности имеет сложную структуру, вода на верхней горизонтальной плоскости раньше по времени прорывается к добывающей скважине, чем в нижележащих плоскостях. На боковых поверхностях расчетного объема, расположенных у добывающей скважины, остаются целики нефти, не охваченные вытеснением. Динамика изменения насыщенности показывает процесс обводнения нефтенасыщенного пласта по времени.

На рис. 4 показано соответствующее поле давления, которое иллюстрирует динамику воздействия воды в процессе вытеснения нефти. В отличие от изоповерхностей насыщенности изобарические поверхности определяют депрессию в призабойной зоне добывающей скважины и приемистости нагнетательной скважины. Поэтому изобарические поверхности выражают

разнонаправленные (разнохарактерные) воздействия и определяют энергетическое состояние процесса вытеснения.

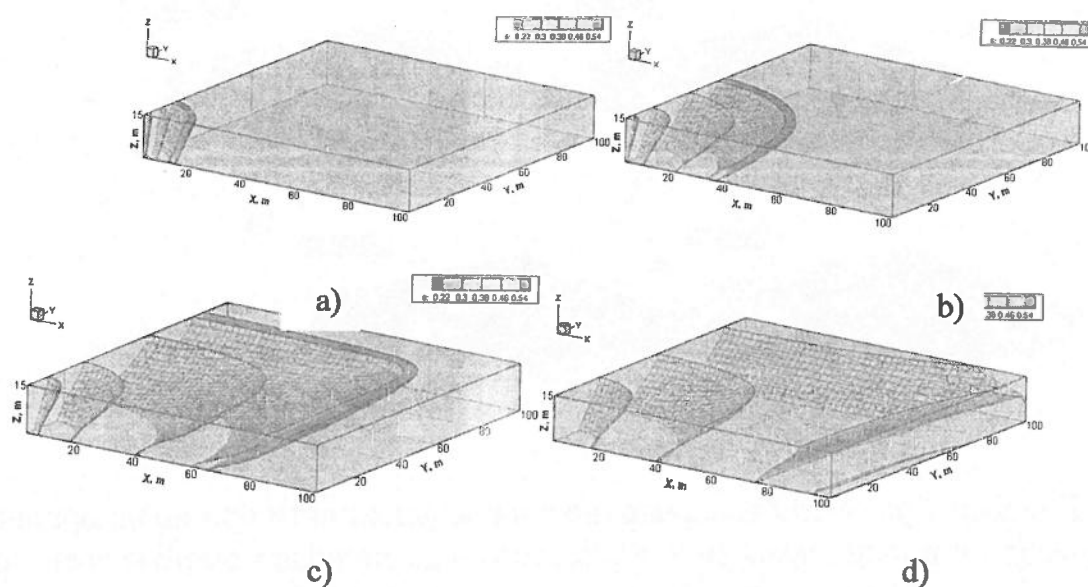


Рис. 3. Динамика развития изоповерхности насыщенности в различные моменты времени:

a) 10 сут.; b) 45 сут.; c) 145 сут.; d) 445 сут.

Известно, что неоднородные распределения проницаемости и пористости могут привести к появлению неустойчивости развития фронта водонефтяного контакта, т.е. образованию языков воды. В этой связи в расчетах были исследованы процессы вытеснения нефти водой при неоднородном распределении проницаемости и пористости пласта, соответствующие объекту М-1 месторождения Молдабек Восточный (рис. 2).

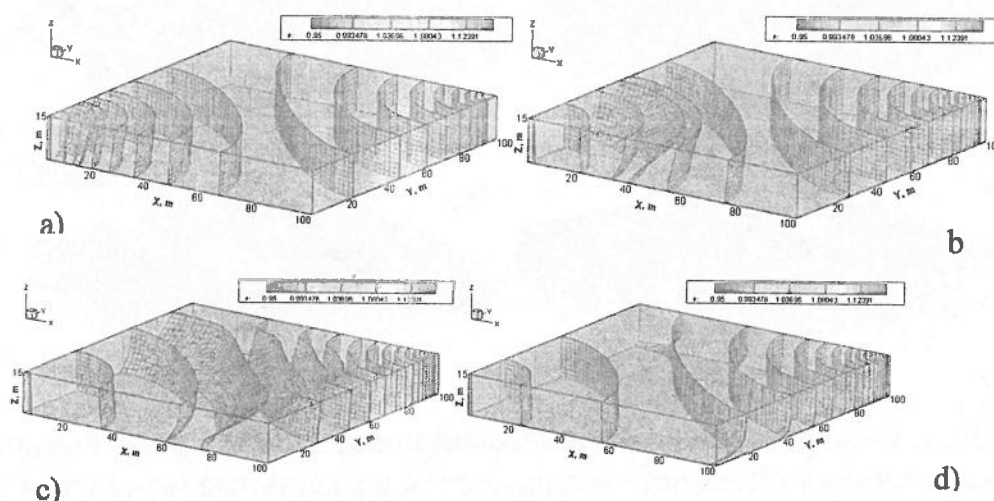


Рис. 4. Динамика развития изобарической поверхности в различные моменты времени:

a) 10 сут.; b) 45 сут.; c) 145 сут.; d) 445 сут.

Поле насыщенности показано на рис. 5 в виде изоповерхностей в различные моменты времени.

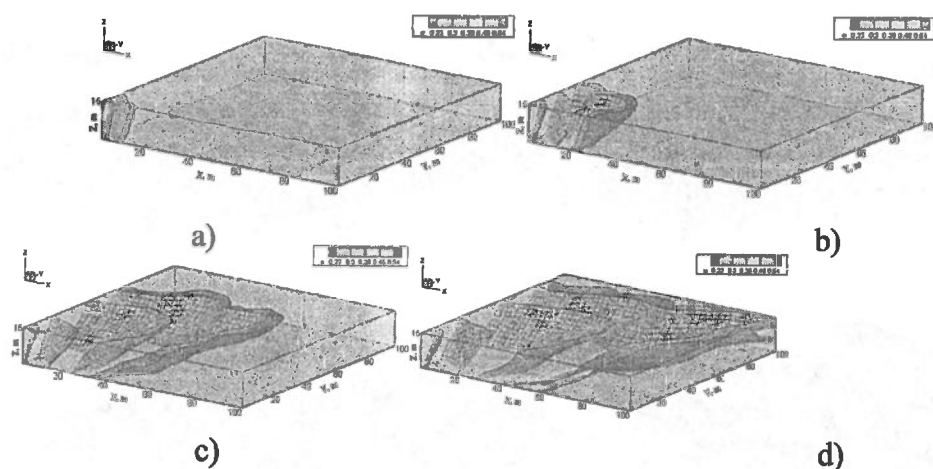


Рис. 5. Динамика развития изоповерхности насыщенности при неоднородном распределении проницаемости и пористости в различные моменты времени: а) 10 сут.; б) 45 сут.; в) 245 сут.; д) 445 сут.

Передний фронт поверхности развивается с разной скоростью по глубине пласта из-за анизотропии проницаемости и пористости по оси z (рис. 5). Фронт поверхности насыщенности на верхней плоскости достигает добывающую скважину раньше по времени.

На рис. 6 показаны соответствующие поля давления, которые иллюстрируют динамику воздействия вытеснения нефти водой.

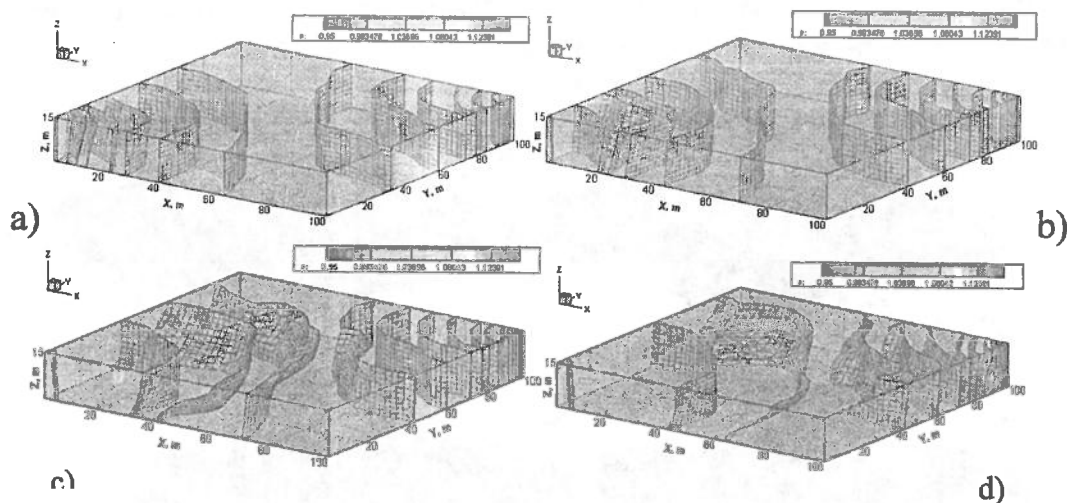


Рис. 6. Динамика развития изобарической поверхности при неоднородном распределении проницаемости и пористости в различные моменты времени: а) 10 сут.; б) 45 сут.; в) 245 сут.; д) 445 сут.

Изобарические поверхности показывают сильные неоднородности в распределениях поля давления, вызывающие неустойчивости развития фронта

водонефтяного контакта (рис. 6). Неоднородные распределения проницаемости и пористости приводят к сильному языкообразованию водонефтяного контакта и появлению больших объемов целиков нефти в расчетной области. Отсюда следует, что неоднородные распределения проницаемости и пористости могут привести к снижению охвата пласта в процессе вытеснения нефти водой [1-3].

Расчетные данные суммарной добычи нефти представлены на рис. 7 по геолого-физическим условиям объекта М-1 месторождения Молдабек Восточный.

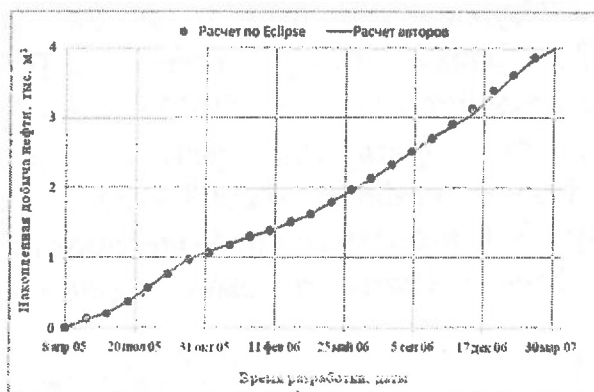


Рис. 7. Расчет суммарной добычи нефти: кривая – данные настоящей работы, точки – данные по коду Eclipse 100

Здесь же даны результаты, полученные известным программным пакетом Eclipse 100. Сравнение показывает хорошее согласие расчетных данных и определяет надежность разработанного программного кода трехмерной модели процесса вытеснения нефти водой.

Заключение

В трехмерной постановке исследован процесс вытеснения нефти водой в пластах с неоднородным распределением проницаемости и пористости.

В расчетах найдена динамика развития изоповерхности насыщенности в различные моменты времени. Поле насыщенности иллюстрирует процесс вытеснения нефти водой в пласте с неоднородным распределением проницаемости и пористости. Передний фронт вытеснения развивается с разной скоростью по вертикали из-за анизотропии параметров по глубине пласта. Фронт водонефтяного контакта кровли расчетного объема быстрее перемещается, чем фронт водонефтяного контакта подошвы, и вода на верхней плоскости прорывается к добывающей скважине раньше по времени. Неоднородности в распределениях проницаемости и пористости приводят к появлению неустойчивости развития поверхности водонефтяного контакта.

Поле давления определяет динамику воздействия вытеснения нефти водой и энергетическое состояние пласта. Изобарические поверхности показывают сильные неоднородности в распределениях поля давления, вызывающие неустойчивости развития фронта водонефтяного контакта. Неоднородные распределения проницаемости и пористости по объему пласта приводят к

сильной неравномерности развития водонефтяного контакта и снижению охвата пласта в процессе вытеснения нефти водой.

Полученные расчетные данные по суммарной добычи нефти находятся в хорошем согласии с результатами известного программного кода Eclipse 100.

Список литературы

1. Лутфуллин А.А. Основные методы увеличения охвата пластов воздействием в России // Бурение и нефть. – 2009. – № 1. – С.6-9.
2. Хисамов Р.С., Газизов А.А., Газизов А.Ш. Увеличение охвата продуктивных пластов воздействием. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. – 568 с.
3. Жданов С.А. Опыт применения методов увеличения нефтеотдачи пластов в России // Нефтяное хозяйство. – 2008. – №1. – С. 58-61.
4. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем / Пер. с англ. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 416 с.
5. Chen Z., Huan G., Ma Yu. Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media. Philadelphia: SIAM, 2006. 549 p.
6. Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 140 с.

УДК 519.63; 519.684

A.Issakhov

DIRECT NUMERICAL SIMULATION (DNS) OF TURBULENT FLOWS BY USING PARALLEL TECHNOLOGY

Nowadays the turbulence remains one of the priority areas of science and one of the most complex objects of study aero- and hydrodynamics. For more than a century of study were invited a lot of different techniques and approaches that were promising directions of the relevant period of time. There are new approaches to its study, the number of models and approaches proposed for a better understanding of its properties, as well as the mechanisms of its origin and existence.

The need for study of turbulent flows due to the fact that they are the dominant form of movement, both in nature and in technology. The presence of turbulence in technical devices have a strong influence on the performance, durability and other important characteristics of the structures. Therefore, the study of unsteady phenomena characteristic of turbulent flows can explain the processes occurring in them, and greatly facilitate the work on creation of new devices /10,13/.

There are many approaches to modeling the turbulence. One of the most well-known approaches - the use of a semi-empirical models that are based on the

hypothesis of the local Reynolds averaging by time of hydro-mechanical parameters of the flow. These models are used for the closure of the system of equations of various algebraic or differential eddy viscosity model, containing a number of empirical constants whose values need to vary in each case. A large amount of numerical studies using this approach will significantly clarify the picture of the processes taking place in a turbulent flow. These turbulence models continue to evolve at this time.

Recently, for the calculation of turbulent flows is intensively used LES (Large Eddy Simulation) modeling - modeling of large eddies. The idea of this method is to calculate the large-scale three-dimensional unsteady turbulent flow using the procedure of spatial filtering, which highlights the major vortex formation. This approach ignores the influence of small-scale turbulence on the flow pattern, so it is often used together with the subgrid model of turbulence (SGS model) /3/.

One of the priority areas nowadays, the calculation of turbulent flows is the numerical simulation based on the construction of difference methods for the calculation. A significant place in modern research has a direct numerical simulation (DNS), i.e. three-dimensional simulation of direct calculations of the program, solving the Navier - Stokes equations, without using any special turbulence models. The complexity of direct numerical simulation is due primarily to the fact that unsteady turbulent flows are characterized by a wide range of spatial and temporal scales. Therefore, the calculations required for high-performance computing system and efficient numerical method to obtain reliable numerical results. It should be noted that the methods, which have a low order of approximation of spatial derivatives have a significant dissipation of the circuit and to obtain reliable results with these schemes require refinement of the difference grids, and as a consequence of an increase in machine time.

This work is devoted to direct numerical simulation using finite volume method. In the problems of turbulence is necessary to construct an irregular grid in order to explore the region with large gradients. For the direct numerical simulation of turbulence was more effective approach using approximation calculation of domains of different structures of regular and irregular meshes, the approximation that makes it easier to carry out concentration of cells in separate subdomains with large gradients. In this case, the original equation is more convenient to choose in integral form and approximate them to the design grid, consisting of cells of different shapes. The approximation equations in integral form on a regular and not regular grids are preferred. Approximation of the basic equations in integral form, based on the finite volume method /3,9/ leads to a system of linear and nonlinear algebraic equations /6,10,13/.

Equations

We are taking Navier - Stokes equations in the form of integral conservation laws for an arbitrary fixed Ω with a boundary $\partial\Omega$:/1,2,3,4,5,11,12/

$$\int_{\Omega} \left(\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F_i}{\partial x_i} + \frac{\partial G_i}{\partial x_i} - B \right) d\Omega = 0 \quad (1)$$

where

$$U = \begin{pmatrix} 0 \\ v_j \end{pmatrix} \quad F_i = \begin{pmatrix} v_i \\ v_i v_j + p \delta_{ij} \end{pmatrix} \quad G_i = \begin{pmatrix} 0 \\ \tau_{ij} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ F_j \end{pmatrix}$$

We can write equation (1) like that

$$\int_{\Omega} \left(\frac{\partial U}{\partial t} - B \right) d\Omega + \oint_{\partial\Omega} (F_i + G_i) n_i d\Gamma = 0 \quad (2)$$

In our case $B=0$ and equation (2) writing like this

$$\int_{\Omega} \left(\frac{\partial U}{\partial t} \right) d\Omega + \oint_{\partial\Omega} (F_i + G_i) n_i d\Gamma = 0 \quad (3)$$

Grid functions will be determined at the center of the cells, and the value of flows across the border in fractional cells. Cell volume is denoted by grid functions.

Now we perform a discretization of equation (3) of the control volume (CV) and the control surface (CS)

$$\sum_{CV} \left(\frac{\Delta U}{\Delta t} \right) \Delta\Omega + \sum_{CS} (F_i + G_i) n_i \Delta\Gamma = 0 \quad (4)$$

or we can write like that

$$\sum_{CV} \Delta U \Delta\Omega + \sum_{CS} \Delta t (F_i + G_i) n_i \Delta\Gamma = 0 \quad (5)$$

Numerical algorithm

To solve equation (5) used a scheme of splitting by physical parameters. The first stage is assumed that the transfer of momentum is only due to convection and diffusion. The intermediate velocity field found by 5-steps Runge - Kutta method /3/. At the second stage, by found an intermediate velocity field, is found the pressure field. The Poisson equation for the pressure field is solved by Jacobi method /2,3,12/. In the third stage it is assumed that the transfer is carried out only by the pressure

gradient. The numerical algorithm parallelized in a high-performance system with a 2D domain decomposition /7,8,14,15/.

$$I) \quad \int_{\Omega} \frac{\vec{u}^* - \vec{u}^n}{\tau} d\Omega = - \oint_{\partial\Omega} (\nabla \vec{u}^n \vec{u}^* - \nu \Delta \vec{u}^*) n_i d\Gamma$$

$$II) \quad \oint_{\partial\Omega} (\Delta p) d\Gamma = \int_{\Omega} \frac{\nabla \vec{u}^*}{\tau} d\Omega$$

$$III) \quad \frac{\vec{u}^{n+1} - \vec{u}^*}{\tau} = -\nabla p.$$

Computational setup

The grid is irregular and regular. Figure 1 shows a two-dimensional grid view, and figure 3 shows a three-dimensional grid view

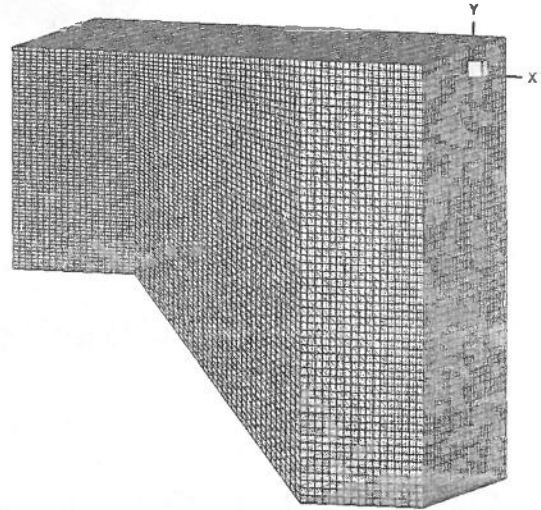
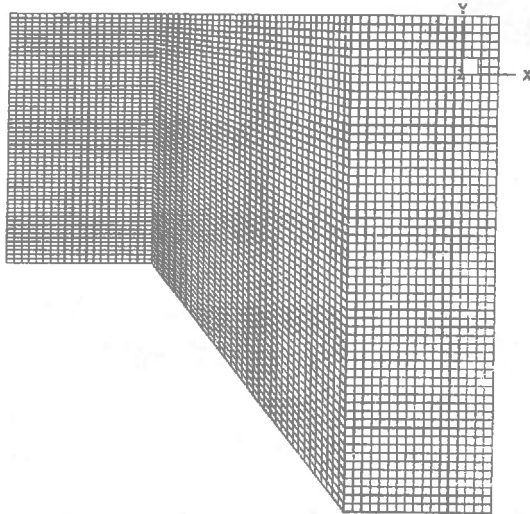


Figure1 Two – dimensional grid view

Figure 2 Three – dimensional grid view

Results

To solve the problems have been given initial and boundary conditions. In the calculations used the mesh with size 72x60x41. Figure 3 shows the isosurface of distribution of kinetic energy at different times. The results show that the kinetic energy is distributed over a larger area, despite the fact that the Reynolds number is very small ($Re = 500$). Over time, a dynamic field decays, and the field energy is converted into a stationary state. From figure 3 we see that with direct numerical simulation can embrace a wide range of eddies.

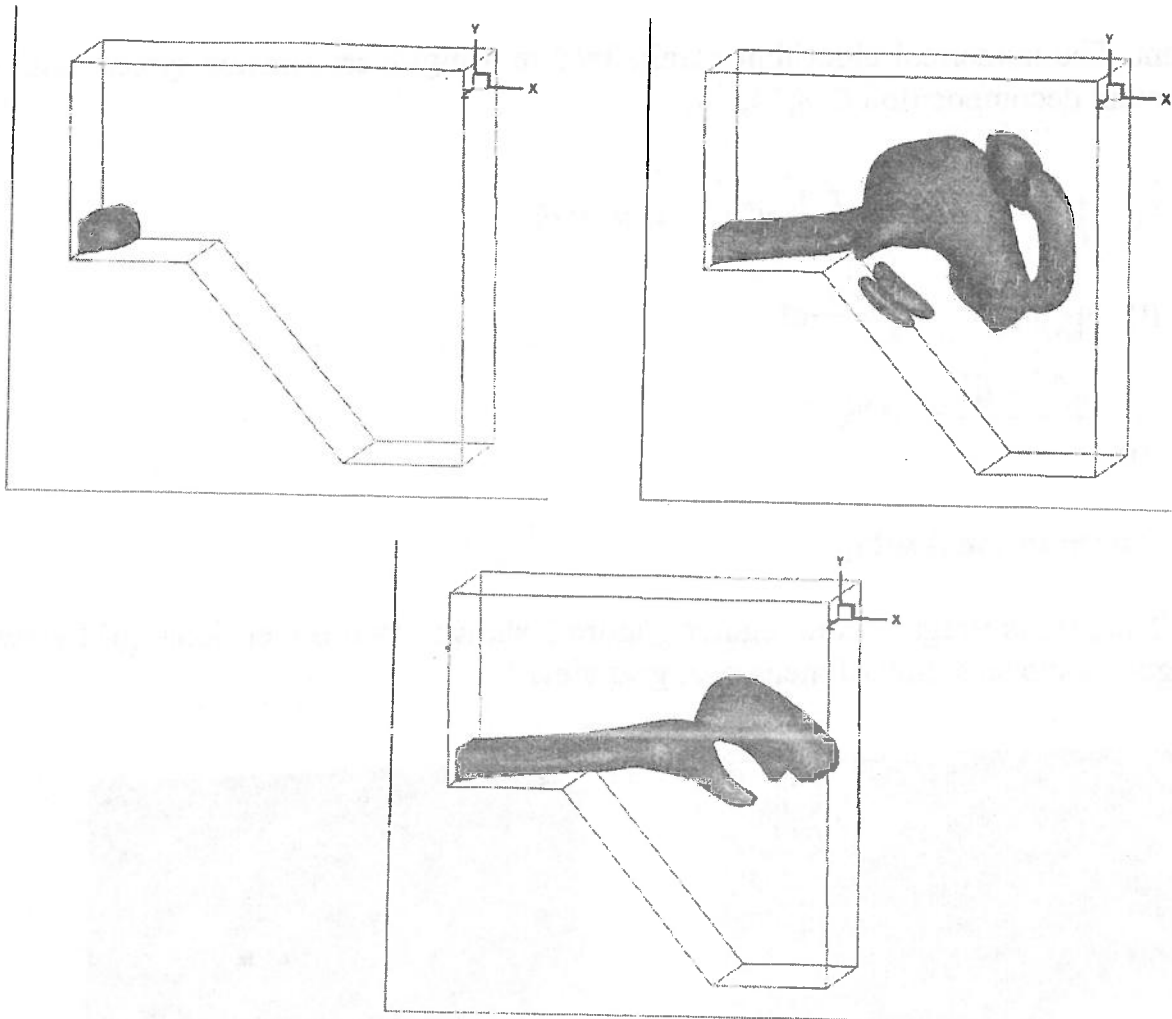


Figure 3 Distribution of isosurface of the kinetic energy at different times

References

1. Anderson, J.D., Jr. Computational Fluid Dynamics. New York: McGraw-Hill. 1995
2. Anderson, D.A., Tannehil, J.C., and Pletcher, R.H. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. New York: McGraw-Hill. 1984
3. Chung, T.J. Computational Fluid Dynamics. Cambridge university press. 2002
4. Fletcher, C.A. Computational Techniques for Fluid Dynamics. Vol 1: Fundamental and General Techniques, Berlin: Springer-Verlag. 1988
5. Fletcher, C.A. Computational Techniques for Fluid Dynamics. Vol 2: Special Techniques for Differential Flow Categories, Berlin: Springer-Verlag. 1988
6. Hinze, J.O. Turbulence. An introduction to its mechanism and theory. New York: McGraw-Hill. 1959
7. Karniadakis, G. E. Parallel Scientific Computing in C++ and MPI. 2000
8. Pacheco, P. Parallel Programming with MPI. Morgan Kaufmann. 1996
9. Peyret, R., Taylor, D. Th. Computational Methods for Fluid Flow. New York: Berlin: Springer-Verlag. 1983

10. Pope, S. B. Turbulent Flows. Cambridge University Press. 2000
11. Roache, P.J. Computational Fluid Dynamics, Albuquerque, NM: Hermosa Publications. 1972
12. Tannehill, J.C., Anderson, D.A., and Pletcher, R.H. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. 2nd ed., New York: McGraw-Hill. 1997
13. Tennekes, H., Lumley, J.L. A first course in turbulence. The MIT Press. 1972
14. Issakhov A. Large eddy simulation of turbulent mixing by using 3D decomposition method Issue 4 (2011) *J. Phys.: Conf. Ser.* 318 042051
15. Issakhov A., Zhumagulov B. Parallel implementation of numerical methods for solving turbulent flows Вестник НИА РК. – 2012, – № 1(43) – С.12-24

УДК 517.946

Гулнар Дилдабек

ЗАДАЧА С НЕОДНОРОДНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ МАГНИТНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Уравнения магнитной газовой динамики с учетом пористости среды в массовых лагранжевых координатах имеют вид /1/:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial x} &= 0, \quad v = \frac{1}{\rho}, \\ \frac{\partial u}{\partial t} &= \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} - \mu_l H \frac{\partial H}{\partial x} - \beta(x) |u|^6 u, \quad p = k \frac{\theta}{v}, \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} &= \lambda \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) - p \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\mu}{v} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{\mu_l \mu_H}{v} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2, \\ \frac{\partial}{\partial t} (vH) &= \mu_H \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial H}{\partial x} \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь v, u, θ, H, ρ, p – соответственно удельный объем, скорость, абсолютная температура, напряженность магнитного поля, плотность и давление – искомые функции пространственной переменной $x, x \in R = (-\infty; \infty)$ и времени $t, t \in [0, T], 0 < T < \infty$; $\mu, k, \lambda, \mu_l, \mu_H$ – положительные постоянные, которые в дальнейшем, для простоты, будем предполагать равными единице; $\beta(x)$ – коэффициент проницаемости – непрерывная, неотрицательная, ограниченная функция и $\int_{-\infty}^{\infty} \beta(x) dx \leq C; 0 \leq \alpha \leq 1$.

В начальный момент $t=0$ все характеристики среды известны:

$$u|_{t=0} = u_0(x), \quad \theta|_{t=0} = \theta_0(x), \quad H|_{t=0} = H_0(x), \quad v|_{t=0} = v_0(x), \quad x \in [0, 1], \quad (2)$$

причем $(\rho^0, u^0, \theta^0, H^0)$ – непрерывные, (ρ^0, θ^0) – ограниченные функции

$$0 < m_0 \leq (\theta_0(x), v_0(x)) \leq M_0 < \infty.$$

Искомые функции удовлетворяют граничным условиям:

$$\left. \frac{1}{v} \frac{\partial u}{\partial x} - p \right|_{x=0} = \left. \frac{1}{v} \frac{\partial u}{\partial x} - p \right|_{x=1} = H|_{x=0} = H|_{x=1} = 0 \quad (3)$$

$$\theta|_{x=0} = \chi_0(t), \quad \theta|_{x=1} = \chi_1(t),$$

$$\chi_i(t) \in W_2^1(0, T), \quad \chi_i(t) \geq m_0 > 0, \quad \chi_i(0) = \theta_0(i), \quad i = 0, 1.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ. Обобщенным решением задачи (1)-(3) называется совокупность функций (v, u, θ, H) ,

$$v(t) \in L_\infty(0, T; W_2^1(R)), \quad \frac{\partial v}{\partial t} \in L_\infty(0, T; L_2(R))$$

$$(u(t), \theta(t), H(t)) \in L_\infty(0, T; W_2^1(R)) \cap L_2(0, T; W_2^2(R)),$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial H}{\partial t}, \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \in L_2(Q), \quad \Omega = (0, 1), \quad Q = \Omega \times (0, T),$$

удовлетворяющих уравнениям (1) почти всюду в Q и принимающих заданные граничные и начальные значения в смысле следов функций из указанных классов.

ТЕОРЕМА. Пусть начальные данные (2) обладают следующими свойствами гладкости:

$$(u_0, H_0, \theta_0, v_0) \in W_2^2(R).$$

Тогда существует единственное обобщенное решение задачи (1)-(3) «в целом» по времени, причем $v(x, t), \theta(x, t)$ - строго положительные, ограниченные функции.

Доказательство теоремы проведем методом априорных оценок. Выводятся глобальные априорные оценки, положительные постоянные C, C_i в которых зависят только от данных задачи и величины T интервала времени, но не зависят от промежутка существования локального решения. На основе полученных глобальных априорных оценок локальное решение [2, 3] продолжается на весь промежуток времени $[0, T]$, $0 < T < \infty$.

Приступим к выводу глобальных априорных оценок.

Из уравнений (1) и ограничений на данные задачи видно, что функции $v(x, t)$ и $\theta(x, t)$ неотрицательны.

Введем вспомогательную функцию $\theta_1(x, t)$ как решение краевой задачи [2]:

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial \theta_1}{\partial x} \right), \quad (x, t) \in Q = (0, 1) \times (0, T), \quad (4)$$

$$\theta_1|_{x=0} = \chi_0(t), \quad \theta_1|_{x=1} = \chi_1(t), \quad \theta_1|_{t=0} = \theta_0(x).$$

По принципу максимума для параболических уравнений:

$$0 < m_1 \leq \theta_1(x, t) \leq M_1 < \infty.$$

Обозначим через $\varphi(x, t)$ новую искомую функцию:

$$\varphi(x, t) = \frac{\theta(x, t)}{\theta_1(x, t)}.$$

Система уравнений (1) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial v}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial x} &= 0, \\
\frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\theta_1}{v} \varphi \right) - H \frac{\partial H}{\partial x} - \beta(x) |u|^6 u, \\
\theta_1 \frac{\partial \varphi}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\theta_1}{v} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{1}{v} \frac{\partial \theta_1}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \frac{\theta_1}{v} \varphi \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{v} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{v} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2, \\
\frac{\partial}{\partial t} (vH) &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial H}{\partial x} \right).
\end{aligned} \tag{5}$$

Граничные условия примут вид:

$$\begin{aligned}
\varphi|_{x=0} = \varphi|_{x=1} &= 1, \quad H|_{x=0} = H|_{x=1} = 0, \\
\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} &= \chi_0(t), \quad \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=1} = \chi_1(t), \\
v|_{x=0} &= \int_0^t \chi_0(\tau) d\tau + v_0(0) = \alpha_1(t), \quad v|_{x=1} = \int_0^t \chi_1(\tau) d\tau + v_0(1) = \alpha_2(t),
\end{aligned} \tag{6}$$

где $\alpha_1(t), \alpha_2(t)$ — строго положительные, ограниченные функции. Здесь использовалось первое уравнение системы (5).

Справедлива оценка

$$U(t) + \int_0^t W(\tau) d\tau \leq C_1, \quad \forall t \in [0, T], \tag{7}$$

где
$$U(t) = \int_0^1 \left\{ \frac{1}{2} u^2 + \theta_1 (\varphi - \ln \varphi - 1) + \frac{1}{2} v H^2 \right\} dx,$$

$$W(t) = \int \left\{ \frac{\theta_1 \varphi_x^2}{v \varphi^2} + \frac{u_x^2}{v \theta} + \frac{H_x^2}{v \theta} + \beta(x) |u|^6 u^2 \right\} dx.$$

Докажем (7). Второе уравнение системы (1) умножим на u , третье — на $\left(1 - \frac{1}{\varphi}\right)$, четвертое — на H . Сложим получившиеся соотношения и проинтегрируем по x и t . При этом воспользуемся равенствами /2/:

$$\begin{aligned}
\theta_1 \frac{\partial \varphi}{\partial t} \left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) &= \frac{\partial}{\partial t} (\theta_1 (\varphi - \ln \varphi - 1)) - (\varphi - \ln \varphi - 1) \frac{\partial \theta_1}{\partial t}, \\
\frac{1}{v} \frac{\partial \theta_1}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial \theta_1}{\partial x} (\varphi - \ln \varphi - 1) \right) - (\varphi - \ln \varphi - 1) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial \theta_1}{\partial x} \right).
\end{aligned}$$

После некоторых преобразований получим соотношение

$$U(t) + \int_0^t W(\tau) d\tau \leq C \left(1 + \int_0^t \int_0^1 \frac{\theta_1 \varphi}{v} dx d\tau \right). \tag{8}$$

Из уравнения теплопроводности системы (1) выводится неравенство /2, 4/:

$$\int_0^t \int_0^1 \frac{\theta_1 \varphi}{v} dx d\tau \leq C \left(1 + \int_0^t \max_{0 \leq x \leq 1} U(\tau) d\tau \right).$$

Подставляя его в (8) и применяя лемму Гронуолла, находим (7).

Аналогично /2, 4/ выводится вспомогательное соотношение между искомыми функциями:

$$v(x, t) = B^{-1}(x, t) K(x, t) \left[v_0(x) + \int_0^t \left(\theta + \frac{1}{2} v H^2 \right) (x, \tau) B(x, \tau) K^{-1}(x, \tau) d\tau \right], \quad (9)$$

где

$$B(x, t) = \exp \left\{ \int_0^x (u_0(\xi) - u(\xi, t)) d\xi \right\}, \quad K(x, t) = \exp \left\{ \int_0^t \int_0^x \beta(\xi) |u|^\alpha u(\xi, \tau) d\xi d\tau \right\}.$$

Из (7) вытекают оценки:

$$C_2^{-1} \leq B(x, t) \leq C_2, \quad C_3^{-1} \leq K(x, t) \leq C_3. \quad (10)$$

Пусть $h(x, t)$ – непрерывная функция. Введем обозначения

$$M_h(t) = \max_{x \in \Omega} h(x, t), \quad m_h(t) = \min_{x \in \Omega} h(x, t).$$

Из представления (9), с учетом (7), имеем

$$m_v(t) \geq C_4, \quad \int_0^1 v(x, t) dx \leq C_5, \quad \forall t \in [0, T] \quad (11)$$

Введем вспомогательные функции $\psi(x, t)$ и $f(x, t)$, используя граничные условия /4/: $\psi(x, t) = \chi_0(t)(1-x) + \chi_1(t)x$, $f(x, t) = \alpha_1(t)(1-x) + \alpha_2(t)x$, причем $0 < C_6^{-1} < \psi(x) < C_6$, $\psi'_x \in W_2^1(Q)$,

$$0 < C_7^{-1} < \psi(x) < C_7, \quad |f'_x| < C_8, \quad f'_t \in W_2^1(0, T; L_2(\Omega)).$$

Умножим уравнение (4) на $(\theta_1 - \psi)$ и проинтегрируем по Q . После некоторых преобразований имеем оценку:

$$\|\theta_1(t)\|^2 + \int_0^1 \int_0^t \frac{\theta_{1x}^2}{v} dx d\tau \leq C_9, \quad \forall t \in [0, T]. \quad (12)$$

Из (7) и (12) вытекает оценка:

$$\int_0^1 \theta dx + \int_0^1 \int_0^t \frac{\theta_x^2}{v \theta^2} dx d\tau \leq C_{10}, \quad \forall t \in [0, T].$$

Обратимся к уравнениям импульса и магнитного поля

$$\frac{\partial}{\partial t} (\ln v)_x = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\theta}{v} \right) + H \frac{\partial H}{\partial x} + \beta(x) |u|^6 u,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (vH) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial H}{\partial x} \right).$$

Умножим их на $\frac{\partial \ln v}{\partial x}$ и (vH) соответственно, проинтегрируем по Ω и сложим.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \int_0^1 \left[\left(\frac{\partial \ln v}{\partial x} \right)^2 + (vH)^2 \right] dx + \int_0^1 \left[H_x^2 + \frac{\theta}{v} \left(\frac{\partial \ln v}{\partial x} \right)^2 \right] dx = \\ & = \frac{d}{dt} \int_0^1 u \frac{\partial \ln v}{\partial x} dx + \int_0^1 \frac{1}{v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial \ln v}{\partial x} dx + \int_0^1 \frac{1}{v} u_x^2 dx + \int_0^1 \beta(x) |u|^6 u \frac{\partial \ln v}{\partial x} dx. \end{aligned} \quad (13)$$

Умножим второе уравнение системы (1) на u и проинтегрируем по Ω . После некоторых преобразований получим неравенство:

$$\frac{d}{dt} \int_0^1 u^2 dx + \int_0^1 \frac{1}{v} u_x^2 dx \leq C_{11} \left(M_\theta(t) + \varepsilon \int_0^1 \frac{1}{v} H_x^2 dx + C_\varepsilon \right). \quad (14)$$

Умножая четвертое уравнение системы (1) на H и интегрируя по Ω , после некоторых преобразований имеем неравенство:

$$\frac{d}{dt} \int_0^1 v H^2 dx + \int_0^1 \frac{1}{v} H_x^2 dx \leq C_{12} \int_0^1 \frac{1}{v} u_x^2 dx. \quad (15)$$

Умножим (14) на $2C_{12}$ и сложим с (15). Выбирая $\varepsilon > 0$ так, чтобы $2C_{11}C_{12}\varepsilon < 1$, после интегрирования по t получим

$$\int_0^1 \int_0^1 \frac{1}{v} (u_x^2 + H_x^2) dx d\tau \leq C_{13} \left(1 + \int_0^1 M_\theta(\tau) d\tau \right). \quad (16)$$

Далее, рассуждая аналогично [2, 4], выводятся оценки:

$$M_v(t) \leq C_{14}, \quad \forall t \in [0, T],$$

$$\max_{0 \leq t \leq T} \|v_x(t)\| \leq C_{15}, \quad \int_0^T (\|u_x\|^2 + \|H_x\|^2 + M_\theta(t) + M_H^2(t)) dt \leq C_{16}.$$

Умножением четвертого уравнения системы (1) на H_{xx} и интегрированием выводится оценка

$$\max_{0 \leq t \leq T} \|H_x(t)\|^2 + \int_0^T \|H_{xx}(t)\|^2 dt \leq C_{17}.$$

Аналогично можно получить все априорные оценки, необходимые для доказательства теоремы. Доказательство единственности производится на основе полученных априорных оценок составлением однородного уравнения относительно разности двух возможных решений.

Теорема доказана.

Список литературы

1. Бай Ши-и. Магнитная газодинамика и динамика плазмы. – М.: Мир, 1964. – 301 с.
2. Антонцев С.Н., Кажихов А.В., Монахов В.Н. Краевые задачи механики неоднородных жидкостей. – Новосибирск: Наука, 1983. – 319 с.
3. Искендерова Д.А. Локальная разрешимость краевой задачи для уравнений магнитной газовой динамики // Вестн. Казахск. гос. нац. ун-та. Сер. мат., мех., информатики. – 2001. – № 3(26). – С.56–61.
4. Смагулов Ш.С., Искендерова Д.А. Математические вопросы модели магнитной газовой динамики. – Алматы: Гылым, 1997. – 166 с.

ДВИЖЕНИЕ ПОРШНЯ В ВЯЗКОМ ГАЗЕ

Рассматривается движение поршня массы " m " в трубке, заполненной газом в пористой среде с учетом магнитного поля. Движение считается одномерным, газ – вязким теплопроводным, поршень движется за счет разности напряжений, трением поршня о стенки пренебрегаем. Будем исследовать задачу в массовых лагранжевых переменных. Примем для простоты, что концы трубки находятся в точках $x = -1, x = 1$, точка $x = 0$ есть начальное положение поршня. Введем обозначения:

$$\Omega_1 = (-1, 0), \Omega_2 = (0, 1), \Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2, Q_i = \Omega_i \times (0, T), i = 1, 2,$$

$$\Gamma = \{(0, t) | 0 < t < T\}, 0 < T < \infty,$$

$$v = \rho^{-1}, \sigma = \mu \rho u_x - p, F = \lambda \rho \theta_x, G = \mu_H \rho H_x, p = R \rho \theta,$$

$$[f] = f(+0, t) - f(-0, t) - \text{скачок функции } f.$$

Система уравнений, описывающих состояние газа, имеет вид [1]:

$$v_t = u_x,$$

$$u_t = \sigma_x - \mu_l H H_x - |u|^\alpha u, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (1)$$

$$\theta_t = F_x + u_x \sigma + \frac{\mu_l \mu_H}{v} H_x^2,$$

$$(vH)_t = G_x, \quad (x, t) \in (\Omega_1 \times (0, T)) \cup (\Omega_2 \times (0, T)).$$

Здесь $R, \mu, \lambda, \mu_l, \mu_H$ – положительные постоянные, которые в дальнейшем, не нарушая общности, будем принимать равными единице.

Движение поршня определяется вторым законом Ньютона:

$$mU_t = [\sigma], U = u(0, t), t \in (0, T). \quad (2)$$

На линии $x = 0$ выполняются условия:

$$[u] = [\theta] = [H] = [F] = [G] = 0. \quad (3)$$

Система (1)-(3) замыкается добавлением граничных и начальных данных:

$$u = H = F = 0 \text{ при } x = -1, x = 1, t \in (0, T) \quad (4)$$

$$u = u_0, v = v_0, \theta = \theta_0, H = H_0 \text{ при } t = 0 \quad (5)$$

и выполнены условия согласования. Функции u_0, v_0, θ_0, H_0 предполагаются гладкими при $x \neq 0$ и удовлетворяющими условиям (2), (3) при $x = 0$.

ТЕОРЕМА. Пусть начальные данные (5) удовлетворяют условиям

$$(u_0, v_0, \theta_0, H_0) \in W_2^2(\Omega_i), i = 1, 2, \quad 0 < m_0 \leq (v_0, \theta_0) \leq M_0 < \infty.$$

Тогда существует единственное обобщенное решение задачи (1)-(5) «в целом» по времени, причем

$$v(t) \in L_\infty(0, T; W_2^1(\Omega_i)), \frac{\partial v}{\partial t} \in L_\infty(0, T; L_2(\Omega_i)), (u(t), \theta(t), H(t)) \in L_\infty(0, T; W_2^2(\Omega_i)),$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial \theta}{\partial t}, \frac{\partial H}{\partial t} \right) \in L_\infty(0, T; L_2(\Omega_i)) \cap L_2(0, T; W_2^1(\Omega_i)),$$

$v(x, t), \theta(x, t)$ – строго положительные, ограниченные функции.

Доказательство теоремы проведем методом априорных оценок. Выводятся глобальные априорные оценки, положительные постоянные C, C_i в которых зависят только от данных задачи и величины T интервала времени, но не зависят от промежутка существования локального решения. На основе полученных глобальных априорных оценок локальное решение [2,3] продолжается на весь промежуток времени $[0, T]$, $0 < T < \infty$.

Норму функции f в пространствах $L_1(\Omega_i), L_2(\Omega_i), W_2^1(\Omega_i)$ будем обозначать соответственно $\|f\|_{L_1(\Omega_i)}, \|f\|_{L_2(\Omega_i)}, \|f\|_{W_2^1(\Omega_i)}$, и для каждой нормы положим

$$\|f\| = \|f\|_{\Omega_1} + \|f\|_{\Omega_2}.$$

Непосредственно из первого уравнения системы (1) вытекает оценка

$$\int_{\Omega} v(x, t) dx = \int_{\Omega} v_0(x) dx = I, \quad \Omega = (-1, 1), \quad t \in (0, T). \quad (6)$$

После умножения уравнений системы (1) на $\left(1 - \frac{1}{v}\right)$, u , $\left(1 - \frac{1}{\theta}\right)$ и H соответственно, выводится закон сохранения

$$E_1(t) + \int_0^t E_2(\tau) d\tau = E_1(0) = E_1 = \text{const} > 0, \quad (7)$$

$$E_3(t) = \int_{\Omega} \left(\frac{\theta_x^2}{v\theta^2} + \frac{u_x^2}{v\theta} + \frac{H_x^2}{v\theta} + |u|^\alpha u^2 \right) dx,$$

$$E_2(t) = \int_{\Omega} \left(\frac{1}{2} u^2 + \frac{1}{2} v H^2 + (\theta - \ln \theta - 1) + (v - \ln v - 1) \right) dx + \frac{1}{2} m U^2.$$

Аналогично [2, 4] выводится одно вспомогательное соотношение между искомыми функциями.

$$\begin{aligned} v(x, t) = & B^{-1}(x, t) I^{-1}(t) K^{-1}(t) S(x, t) \times \\ & \times \left[v_0(x) + \int_0^t \left(\theta + \frac{1}{2} v H^2 \right) B(x, \tau) I(\tau) K(\tau) S^{-1}(x, \tau) d\tau \right], \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$B(x, t) = \exp \left\{ \int_{a(t)}^x (u_0(\xi) - u(\xi, t)) d\xi \right\}, \quad K(t) = \exp \{ -\eta(a(t), t) \},$$

$$I(t) = \frac{v_0(a(t))}{v(a(t), t)} \exp \left\{ \int_0^t \left(\frac{\theta}{v} + \frac{1}{2} H^2 \right) (a(t), \tau) d\tau \right\},$$

$$S(x, t) = \exp \left\{ \int_0^t \int_{a(\tau)}^x \beta(\xi) |u|^\alpha u(\xi, \tau) d\xi d\tau \right\},$$

$$\eta(a(t), t) = \begin{cases} 0, & a(t) \in \Omega_2, \\ \int_0^t [\sigma] d\tau = m(U - U_0), & a(t) \in \Omega_1. \end{cases}$$

Используя (6), (7), можно получить оценки:

$$\begin{aligned} 0 < C_1^{-1} \leq B(x, t) \leq C_1, \quad 0 < C_2^{-1} \leq I(t) \leq C_2, \\ 0 < C_3^{-1} \leq K(t) \leq C_3, \quad 0 < C_4^{-1} \leq S(x, t) \leq C_4, \quad \forall t \in [0, T]. \end{aligned} \quad (9)$$

Пусть $h(x, t)$ – непрерывная функция. Введем обозначения:

$$M_h(t) = \max_{x \in \Omega} h(x, t), \quad m_h(t) = \min_{x \in \Omega} h(x, t).$$

Из (8) в силу (9) вытекает оценка:

$$m_v(t) \geq C_5, \quad \forall t \in [0, T]. \quad (10)$$

Умножим уравнение теплопроводности на $\frac{1}{\theta^{1/2}}$ и проинтегрируем по Ω .

После некоторых преобразований /4/ выводим оценку:

$$\int_0^T \int_{\Omega} \left\{ \frac{\theta_x^2}{v\theta^{3/2}} + \frac{u_x^2}{v\theta^{1/2}} + \frac{H_x^2}{v\theta^{1/2}} \right\} dx dt \leq C_6. \quad (11)$$

Докажем ограниченность удельного объема:

$$M_v(t) \leq C_7, \quad \forall t \in [0, T]. \quad (12)$$

В виду равенства (8) получим оценки для $M_{\theta}(t), M_H^2(t)$.

$$M_{\theta}(t) \leq C + \int_{\Omega} |\theta_x| dx \leq C + \left(\int_{\Omega} \frac{\theta_x^2}{v\theta^2} dx \right)^{1/2} \left(\int_{\Omega} v\theta^2 dx \right)^{1/2} \leq C [1 + A^{1/2}(t) M_v^{1/2}(t) M_{\theta}^{1/2}(t)],$$

где $A(t) = \int_{\Omega} \frac{\theta_x^2}{v\theta^2} dx$.

Отсюда, применяя неравенство Юнга с ε , находим

$$M_{\theta}(t) \leq C_{\varepsilon} A(t) M_v(t) + C. \quad (13)$$

Далее, используя (11), получим

$$\begin{aligned} M_H^2(t) &\leq 2 \int_{\Omega} |H H_x| dx \leq 2 \left(\int_{\Omega} \frac{H_x^2}{v\theta^{1/2}} dx \right)^{1/2} \left(\int_{\Omega} v H^2 dx \right)^{1/2} M_{\theta}^{1/2}(t) \leq \\ &\leq C \left[\int_{\Omega} \frac{H_x^2}{v\theta^{1/2}} dx + \int_{\Omega} \frac{\theta_x^2}{v\theta^{3/2}} dx + 1 \right]. \end{aligned}$$

После интегрирования по t с учетом (11), имеем оценку:

$$\int_0^T M_H^2(t) dt \leq C_8. \quad (14)$$

Таким образом, учитывая (13), (14), из (8) следует представление

$$M_v(t) \leq C \left[1 + \int_0^t (A(\tau) + M_H^2(\tau)) M_v(\tau) d\tau \right].$$

Применение леммы Гронуолла дает оценку (12).

Соотношение (13) ведет к оценке:

$$\int_0^T M_{\theta}(t) dt \leq C_9.$$

Проинтегрируем уравнение теплопроводности системы (1) по $\Omega \times (0, T)$.

После некоторых преобразований заключаем

$$\int_0^T (\|u_x(t)\|^2 + \|H_x(t)\|^2) dt \leq C_{10}.$$

Четвертое уравнение системы (1) умножим на $\frac{1}{v}G_x$ и проинтегрируем по Ω :

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|G\|^2 + \int_{\Omega} \frac{1}{v} G_x^2 dx = \int_{\Omega} \frac{1}{v} u_x G_x H dx - \int_{\Omega} u_x G^2 dx = J_1 + J_2. \quad (15)$$

Оценим каждое J_i , $i = 1, 2$, учитывая полученные ранее оценки.

$$J_1 \leq \delta_1 \int_{\Omega} \frac{1}{v} G_x^2 dx + \int_{\Omega} \frac{1}{v} u_x^2 H^2 dx \leq \delta_1 \int_{\Omega} \frac{1}{v} G_x^2 dx + C(\|G\|^2 + 1) \|u_x\|^2,$$

так как

$$M_H^2(t) \leq 2 \int_{\Omega} |HH_x| dx \leq 2 \left(\int_{\Omega} \frac{H_x^2}{v} dx \right)^{1/2} \left(\int_{\Omega} v H^2 dx \right)^{1/2} \leq \|G\|^2 + E_1,$$

$$J_2 \leq \max_{x \in \Omega} |G| \|G\| \|u_x\| \leq \delta_2 \int_{\Omega} \frac{1}{v} G_x^2 dx + \|u_x\|^2 \|G\|^2,$$

так как

$$\max_{x \in \Omega} |G| \leq \int_{\Omega} |G_x| dx \leq \left(\int_{\Omega} \frac{1}{v} G_x^2 dx \right)^{1/2}.$$

Здесь δ_1, δ_2 — достаточно малые величины. После интегрирования полученного из (15) неравенства по t выводим

$$\sup_{0 \leq t \leq T} \|H_x(t)\|^2 + \int_0^T \int_{\Omega} \frac{1}{v} \left(\frac{1}{v} H_x \right)^2 dx dt \leq C_{11}. \quad (16)$$

Из (16) и (7) следует оценка:

$$M_H^2(t) \leq C_{12}, \quad \forall t \in [0, T].$$

Непосредственно из системы (1) вытекает оценка:

$$\int_0^T \|H_t(t)\|^2 dt \leq C_{13}.$$

Уравнение импульса системы (1)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \ln v}{\partial x} - u \right) = \frac{\theta_x}{v} - \frac{\theta}{v} \frac{\partial \ln v}{\partial x} + HH_x + |u|^6 u$$

умножим на $q = \frac{\partial \ln v}{\partial x} - u$, а затем проинтегрируем по Ω :

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|q\|^2 + \int_{\Omega} \frac{\theta}{v} \left(\frac{\partial \ln v}{\partial x} \right)^2 dx = \int_{\Omega} \left\{ \frac{\theta_x}{v} q + \frac{\theta}{v} \frac{\partial \ln v}{\partial x} u + HH_x q + |u|^6 u q \right\} dx.$$

Оценим интегралы, стоящие в правой части с учетом неравенств Коши, Юнга и полученных выше оценок. После некоторых преобразований имеем:

$$\max_{0 \leq t \leq T} \|v_x(t)\|^2 \leq C_{14}.$$

Рассуждая аналогично, можно получить все глобальные априорные оценки, необходимые для доказательства существования обобщенного решения. Единственность выводится составлением однородного уравнения для разности двух возможных решений и проведением некоторых преобразований, аналогично /2, 3, 4/.

Теорема доказана.

Список литературы

1. Бай Ши-и. Магнитная газодинамика и динамика плазмы. – М.: Мир, 1964. – 301 с.
2. Антонцев С.Н., Кажихов А.В., Монахов В.Н. Краевые задачи механики неоднородных жидкостей. – Новосибирск: Наука, 1983. – 319 с.
3. Шелухин В.В. Однозначная разрешимость задачи о движении поршня в вязком газе // Динамика сплошной среды. – 1977. – Вып. 31. – С. 132–150.
4. Искендерова Д.А. Задача о движении поршня в вязком газе с учетом магнитного поля // Докл. Мин. науки – Акад. наук Республики Казахстан. – 1998. – № 5. – С.8–18.

УДК 517.946

С.Тажикбаева

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ВЫРОЖДАЮЩИХСЯ УРАВНЕНИЙ МАГНИТНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающая одномерное течение вязкого теплопроводного газа с учетом магнитного поля в пористой среде с коэффициентом теплопроводности, зависящим от температуры, в лагранжевых координатах имеет вид [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial x} &= 0, \quad v = \frac{\rho^0}{\rho}, \\ \rho^0 \frac{\partial u}{\partial t} &= \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} - \mu_1 H \frac{\partial H}{\partial x} - \beta(x) |u|^\alpha u, \quad p = k \rho^0 \frac{\theta}{v}, \\ \rho^0 \frac{\partial \theta}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda(\theta)}{v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) - p \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\mu}{v} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{\mu_1 \mu_H}{v} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2, \\ \frac{\partial}{\partial t} (vH) &= \mu_H \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v} \frac{\partial H}{\partial x} \right). \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь v, u, θ, H, ρ, p – соответственно удельный объем, скорость, абсолютная температура, напряженность магнитного поля, плотность и давление – искомые функции пространственной переменной $x, x \in \Omega = (0; 1)$ и времени $t, t \in [0, T], 0 < T < \infty$; μ, k, μ_1, μ_H – положительные постоянные, которые в дальнейшем, для простоты, будем предполагать равными единице; $\beta(x)$ – коэффициент проницаемости – непрерывная, неотрицательная, ограниченная функция и $\int_{-\infty}^{\infty} \beta(x) dx \leq C$; $0 \leq \alpha \leq 1$; $\lambda(\theta)$ – коэффициент теплопроводности среды – некоторая положительная функция.

В начальный момент $t = 0$ все характеристики среды известны:

$$u|_{t=0} = u^0(x), \quad \theta|_{t=0} = \theta^0(x), \quad H|_{t=0} = H^0(x), \quad v|_{t=0} = 1, \quad x \in [0, 1], \tag{2}$$

причем $(\rho^0, u^0, \theta^0, H^0)$ – непрерывные, (ρ^0, θ^0) – ограниченные, неотрицательные функции и $\rho^0(x)$ имеет вырождение при $x=1$, то есть $\rho^0(1)=0$,

$$0 \leq \rho^0(x) \leq C_0 < \infty, \quad 0 < m_0 \leq \theta^0(x) \leq M_0 < \infty.$$

Искомые функции удовлетворяют граничным условиям:

$$u|_{x=0} = u|_{x=1} = \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=1} = H|_{x=0} = H|_{x=1} = 0 \quad (3)$$

и выполнены условия согласования.

Определение. Обобщенным решением задачи (1)-(3) называется совокупность функций (v, u, θ, H) ,

$$v(t) \in L_\infty(0, T; W_2^1(\Omega)), \quad \left(\sqrt{\rho^0} \frac{\partial u}{\partial t}, \sqrt{\rho^0} \frac{\partial \theta}{\partial t}, \frac{\partial \theta}{\partial x}, \frac{\partial H}{\partial t}, \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) \in L_2(Q),$$

$$(u(t), H(t)) \in L_\infty(0, T; W_2^1(\Omega)) \cap L_2(0, T; W_2^2(\Omega)),$$

$$(v_i(t), \sqrt{\rho^0} \theta(t), \sqrt{\rho^0} \theta_x(t)) \in L_\infty(0, T; L_2(\Omega)), \quad \Omega = (0, 1), \quad Q = \Omega \times (0, T),$$

удовлетворяющих уравнениям (1) почти всюду в Q и принимающих заданные граничные и начальные значения в смысле следов функций из указанных классов.

Теорема. Пусть $\lambda(\theta) = \chi\theta$, $\chi = \text{const}$ и начальные данные (2) обладают следующими свойствами гладкости:

$$(\rho^0(x), u^0(x), \theta^0(x)) \in W_2^1(\Omega), \quad \frac{\rho_x^0(x)}{\rho^0(x)} \in L_2(\Omega), \quad \frac{\rho^0(x)}{\inf_{0 \leq s \leq x} \rho^0(s)} < C,$$

$$\left(\sqrt{\rho^0} u_i \Big|_{t=0}, \sqrt{\rho^0} \theta_i \Big|_{t=0} \right) \in L_2(\Omega), \quad H^0(x) \in W_2^2(\Omega), \quad \frac{H^0(x)}{\sqrt{\rho^0}} \in L_2(\Omega).$$

Тогда существует единственное обобщенное решение задачи (1)-(3) «в целом» по времени, причем $v(x, t)$, $\theta(x, t)$ – строго положительные функции, $v(x, t)$, $\rho^0(x)\theta(x, t)$ – ограниченные функции.

Доказательство теоремы проведем методом регуляризации. Вместо поставленной задачи рассмотрим регуляризованную, т.е. заменим ρ^0 на ρ_ε^0 , где $\rho_\varepsilon^0 \geq \varepsilon > 0$ и ρ_ε^0 стремится к ρ^0 по норме пространства $W_2^1(\Omega)$ при $\varepsilon \rightarrow 0$. Для регуляризованной задачи имеем теорему существования и единственности на любом конечном интервале времени аналогично [2, 3]. Таким образом, доказательство теоремы сводится к получению равномерных априорных оценок и осуществлению предельного перехода.

Рассмотрим регуляризованную задачу. Не нарушая общности, для простоты, положим все физические постоянные в системе (1), равными единице.

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_\varepsilon}{\partial t} - \frac{\partial u_\varepsilon}{\partial x} &= 0, \quad v_\varepsilon = \frac{\rho_\varepsilon^0}{\rho_\varepsilon}, \\ \rho_\varepsilon^0 \frac{\partial u_\varepsilon}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v_\varepsilon} \frac{\partial u_\varepsilon}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_\varepsilon^0 \frac{\theta_\varepsilon}{v_\varepsilon} \right) - H_\varepsilon \frac{\partial H_\varepsilon}{\partial x} - \beta(x) |u_\varepsilon|^6 u_\varepsilon, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\rho_\varepsilon^0 \frac{\partial \theta_\varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\theta_\varepsilon}{v_\varepsilon} \frac{\partial \theta_\varepsilon}{\partial x} \right) - \rho_\varepsilon^0 \frac{\theta_\varepsilon}{v_\varepsilon} \frac{\partial u_\varepsilon}{\partial x} + \frac{1}{v_\varepsilon} \left(\frac{\partial u_\varepsilon}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{v_\varepsilon} \left(\frac{\partial H_\varepsilon}{\partial x} \right)^2,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (v_\varepsilon H_\varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{v_\varepsilon} \frac{\partial H_\varepsilon}{\partial x} \right),$$

$$u_\varepsilon|_{t=0} = u^0(x), \quad \theta_\varepsilon|_{t=0} = \theta^0(x), \quad H_\varepsilon|_{t=0} = H^0(x), \quad v_\varepsilon|_{t=0} = 1, \quad x \in [0, 1], \quad (5)$$

$$u_\varepsilon|_{x=0} = u_\varepsilon|_{x=1} = \frac{\partial \theta_\varepsilon}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial \theta_\varepsilon}{\partial x} \Big|_{x=1} = H_\varepsilon|_{x=0} = H_\varepsilon|_{x=1} = 0, \quad (6)$$

где $\rho_\varepsilon^0 = \rho^0 + \varepsilon$, $\varepsilon \in (0, 1)$, $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \|\rho_\varepsilon^0 - \rho^0\|_{W_2^1(\Omega)} = 0$.

В дальнейшем индекс ε будем опускать, а через C, C_i, N_i обозначаются положительные константы, зависящие от данных задачи и величины T , но не зависящие от ε .

Приступим к выводу глобальных априорных оценок.

Из системы (4), после интегрирования по x и t , имеем

$$\int_0^1 v(x, t) dx = 1, \quad \forall t \in [0, T], \quad (7)$$

Умножим второе уравнение системы (4) на u , четвертое на H и сложим с третьим. После интегрирования по x и t выводим оценку

$$\int_0^t \left\{ \rho^0 u^2 + \rho^0 \theta + \frac{1}{2} v H^2 + \beta(x) |u|^\alpha u^2 \right\} dx \leq N_0, \quad \forall t \in [0, T]. \quad (8)$$

Первое уравнение системы (4) умножим на $\rho^0 \left(1 - \frac{1}{v} \right)$, второе — на u , третье — на $\left(1 - \frac{1}{\theta} \right)$, четвертое — на H . Сложим получившиеся соотношения и проинтегрируем по x и t . Проводя некоторые преобразования, получим

$$\begin{aligned} \max_{0 \leq t \leq T} \int_0^1 \left\{ \rho^0 u^2 + \rho^0 (\theta - \ln \theta - 1) + \rho^0 (v - \ln v - 1) + \frac{1}{2} v H^2 \right\} dx + \\ + \int_0^T \int_0^1 \left\{ \frac{u_x^2}{v\theta} + \frac{\theta_x^2}{v\theta} + \frac{H_x^2}{v\theta} + \beta(x) |u|^\alpha u^2 \right\} dx dt \leq N_1. \end{aligned} \quad (9)$$

Из (7) следует, что при любом t найдется, по крайней мере, одна точка $x_0(t) \in [0, 1]$ в которой $v(x_0(t), t) = 1$. Из первого и второго уравнений системы (4) выводится вспомогательное соотношение между искомыми функциями /3, 4/:

$$\begin{aligned} v(x, t) = B^{-1}(x, t) I^{-1}(t, x_0) K(x, t) \times \\ \times \left[1 + \int_0^t \left(\rho^0(x) \theta(x, \tau) + \frac{1}{2} v(x, \tau) H^2(x, \tau) \right) B(x, \tau) I(\tau, x_0) K^{-1}(x, \tau) d\tau \right], \end{aligned} \quad (10)$$

где $B(x, t) = \exp \left\{ \int_{x_0(t)}^x \rho^0(\xi) [u_0(\xi) - u(\xi, t)] d\xi \right\},$

$$I(t, x_0) = \exp \left\{ \int_0^t \left(\rho^0 \frac{\theta}{v} + \frac{1}{2} H^2 \right) (x_0(\tau), \tau) d\tau \right\},$$

$$K(x,t) = \exp \left\{ \int_0^t \int_{\Omega} \beta(\xi) |u|^\alpha u(\xi, \tau) d\xi d\tau \right\}$$

Справедливы оценки:

$$N_2^{-1} \leq B(x,t) \leq N_2, \quad N_3^{-1} \leq I(t, x_0) \leq N_3, \quad N_4^{-1} \leq K(x,t) \leq N_4. \quad (11)$$

Оценки для $B(x,t)$ и $K(x,t)$ вытекают из (8). Доказательство второго соотношения следует из (10), после интегрирования его по t , с учетом (7), (8) и леммы Гронуолла.

Пусть $h(x,t)$ – непрерывная функция. Введем обозначения

$$M_h(t) = \max_{x \in \Omega} h(x,t), \quad m_h(t) = \min_{x \in \Omega} h(x,t).$$

Из представления (10), с учетом (11), имеем

$$m_v(t) \geq N_5, \quad \forall t \in [0, T] \quad (12)$$

$$M_v(t) \leq C \left[1 + \int_0^t (M_{\rho^0 \theta}(\tau) + M_H^2(\tau) M_v(\tau)) d\tau \right]. \quad (13)$$

Аналогично [4] выводятся оценки

$$M_{\rho^0 \theta}(t) \leq C(1 + A(t) M_v(t)), \quad A(t) = \int_0^t \frac{\theta_x^2}{v\theta} dx, \quad (14)$$

$$\int_0^t M_H^2(\tau) d\tau \leq N_6. \quad (15)$$

Таким образом, из (13) вытекает

$$M_v(t) \leq C \left[1 + \int_0^t (A(\tau) + M_H^2(\tau)) M_v(\tau) d\tau \right]. \quad (16)$$

Применяя к (16) лемму Гронуолла с учетом (9), (15), приходим к оценке $M_v(t) \leq N_7, \quad \forall t \in [0, T].$ (17)

Из уравнения теплопроводности системы (4) следует оценка: $m_\theta(t) \geq N_8, \quad \forall t \in [0, T].$

Ограниченность $v(x,t)$ и (14) дают оценку:

$$\int_0^t M_{\rho^0 \theta}(\tau) d\tau \leq N_9. \quad (18)$$

Проинтегрируем уравнение теплопроводности системы (4) по Ω :

$$\int_0^t \frac{1}{v} (u_x^2 + H_x^2) dx = \frac{d}{dt} \int_0^t \rho^0 \theta dx + \int_0^t \rho^0 \frac{\theta}{v} u_x dx.$$

Оценивая интеграл в правой части с учетом (8), (12), (17), (18), после интегрирования по t получим:

$$\int_0^t (\|u_x(t)\|^2 + \|H_x(t)\|^2) dt \leq N_{10}. \quad (19)$$

Второе и четвертое уравнения системы (4) умножим на $(\ln v)_x$ и vH соответственно, проинтегрируем по Ω и сложим:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \int_0^1 [(ln v)_x^2 + (vH)^2] dx + \int_0^1 \left[H_x^2 + \rho^0 \frac{\theta}{v} (ln v)_x^2 \right] dx = \frac{d}{dt} \int_0^1 \rho^0 u (ln v)_x dx + \\ & + \int_0^1 \rho^0 \frac{1}{v} u_x^2 dx + \int_0^1 \rho_x^0 u \frac{1}{v} u_x dx + \int_0^1 \left(\rho^0 \frac{\theta_x}{v} - \rho_x^0 \frac{\theta}{v} + \beta(x) |u|^\alpha u \right) (ln v)_x dx. \end{aligned} \quad (20)$$

Оценим интегралы в правой части (20), используя неравенства Юнга, Гельдера, Коши, условия теоремы для $\rho^0(x)$ и оценки (8), (12), (17). После некоторых преобразований [4] получим неравенство:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \int_0^1 [(ln v)_x^2 + (vH)^2] dx + \int_0^1 \left[H_x^2 + \rho^0 \frac{\theta}{v} (ln v)_x^2 \right] dx = \\ & \leq \frac{d}{dt} \int_0^1 \rho^0 u (ln v)_x dx + C \left(1 + \int_0^1 \frac{\theta_x^2}{v\theta} dx \right) (1 + \|(ln v)_x\|^2) + C (\|u_x\|^2 + M_{\rho^0\theta} + 1). \end{aligned}$$

Проинтегрируем его по t . Учтем, что

$$\int_0^1 \rho^0 u (ln v)_x dx \leq \gamma \|(ln v)_x\|^2 + C_\gamma,$$

где γ - произвольное положительное число. После применения леммы Гронуолла с использованием (9), (18), (19) имеем

$$\|(ln v)_x\|^2 \leq N_{11}, \quad \forall t \in [0, T].$$

или с учетом (17):

$$\|v_x(t)\|^2 \leq N_{12}, \quad \forall t \in [0, T]. \quad (21)$$

Четвертое уравнение системы (4) умножим на H_{xx} и проинтегрируем по Ω и по t . После некоторых преобразований имеем

$$\max_{0 \leq t \leq T} \|H_x\|^2 + \int_0^T (\|H_{xx}(t)\|^2 + \|H_t(t)\|^2) dt \leq N_{13}. \quad (22)$$

Из (8), (12), (22) вытекает оценка:

$$M_H^2(t) \leq 2\|H\|\|H_x\| \leq N_{14}, \quad \forall t \in [0, T]. \quad (23)$$

Уравнение магнитного поля системы (4) умножим на $\frac{1}{\rho^0}(vH)$ и проинтегрируем по Ω :

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} (vH)^2 dx + \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} H_x^2 dx = \int_0^1 \frac{\rho_x^0}{\rho^{0^2}} HH_x dx + \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} \frac{v_x}{v} HH_x dx = I_1 + I_2. \quad (24)$$

Оценим I_1, I_2 , используя условия теоремы и оценки (12), (17), (22).

$$I_1 \leq \varepsilon_1 \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} H_x^2 dx + C_{\varepsilon_1} \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} (vH)^2 dx.$$

Здесь учитывалось соотношение

$$\begin{aligned} & \frac{H^2(x, t)}{\rho^0(x)} = \int_0^x \left(\frac{\rho_s^0}{\rho^{0^2}} H^2 + 2 \frac{1}{\rho^0} HH_s \right) ds \leq \\ & \leq C \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} (vH)^2 dx + \delta M_{H^2/\rho^0}(t) + C \left(\int_0^1 \frac{1}{\rho^0} H_x^2 dx \right)^{1/2} \left(\int_0^1 \frac{1}{\rho^0} (vH)^2 dx \right)^{1/2}. \end{aligned}$$

Выбирая $0 < \delta < 1$, имеем

$$M_{H^2/\rho^0}(t) \leq C \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} (vH)^2 dx + C \left(\int_0^1 \frac{1}{\rho^0} H_x^2 dx \right)^{1/2} \left(\int_0^1 \frac{1}{\rho^0} (vH)^2 dx \right)^{1/2}.$$

Далее,

$$I_2 \leq \varepsilon_2 \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} H_x^2 dx + C_{\varepsilon_2} \int_0^1 \frac{1}{\rho^0} (vH)^2 dx.$$

Выбираем $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 < 1$. С учетом полученных оценок проинтегрируем (24) по t . Применение леммы Гронуолла дает оценку

$$\max_{0 \leq t \leq T} \left\| \frac{H}{\sqrt{c^0}} \right\|^2 + \int_0^T \left\| \frac{H_x}{\sqrt{c^0}} \right\|^2 dt \leq N_{15}. \quad (25)$$

Аналогично получаются все априорные оценки, необходимые для доказательства существования решения. Предельный переход осуществляется на основе полученных равномерных априорных оценок [5]. Доказательство единственности проводится составлением однородной системы уравнений относительно разности двух возможных решений [4, 5].

Теорема полностью доказана.

Список литературы

1. Бай Ши-и. Магнитная газодинамика и динамика плазмы. — М.: Мир, 1964. — 301 с.
2. Кажихов А.В., Смагулов Ш.С. Корректность и приближенные методы для модели магнитной газовой динамики // Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат. — 1986. — № 6. — С. 82–84.
3. Антонцев С.Н., Кажихов А.В., Монахов В.Н. Краевые задачи механики неоднородных жидкостей. — Новосибирск: Наука, 1983. — 319 с.
4. Искендерова Д.А. Начально-краевая задача для уравнений магнитной газовой динамики с вырождающейся плотностью // Дифференц. уравнения. — 2000. — Т.36. — № 6. — С.765–773.
5. Смагулов Ш.С., Искендерова Д.А. Математические вопросы модели магнитной газовой динамики. — Алматы: Гылым, 1997. — 166 с.

УДК 532.546

М.У.Мурзакматов, М.Б.Шамырканов

АЛГОРИТМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ

При близком залегании (1-2 м) пресных грунтовых вод развивается заболачивание, соленакопление в почвах. При напорном питании грунтовых вод интенсивность процессов соленакопления возрастает.

Специфика конструктивных особенностей применяющихся до сих пор гидромелиоративных систем – земляные каналы, примитивная техника полива, низкий к.п.д. оросительных систем – приводит к неизбежному подъему уровня грунтовых вод (УГВ) и к гидроморфному режиму орошаемых земель на оросительных системах, расположенных на предгорных равнинах, не имеющих достаточной естественной дренированности. Для таких территорий необходимо разработать методику проведения гидромелиоративных мероприятий по поддержанию оптимального УГВ, обеспечивающих влагой корневую систему растений и не допускающих вторичного засоления почвогрунтов.

Рассматривается движение подземных вод в предгорной зоне, ограниченной с юга горами Γ_1 , а с запада, востока и севера – реками $\Gamma_2, \Gamma_4, \Gamma_3$ соответственно (рис. 1). По гидродинамическим условиям воды преимущественно грунтовые, реже напорные, их разгрузка часто контролируется эрозионными врезами. Питание подземных вод обусловлено, главным образом, водами поверхностного стока, подземным притоком и атмосферными осадками. В рассматриваемом объекте можно выделить две зоны: зона формирования и транзита и зона близкого залегания, частичного выклинивания грунтовых и распространения субнапорных вод.

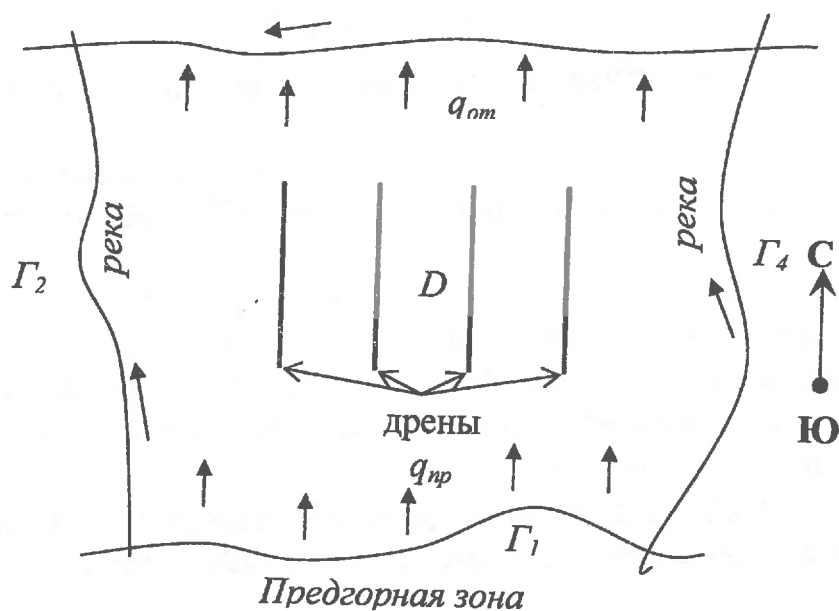


Рис. 1. Схема области фильтрации

Первая зона (формирования и транзита) по площади охватывает верхние и центральные части подгорного шлейфа, образовавшегося за счет слияния конусов выноса горных рек. Глубина залегания подземных вод от 10-20 м (в центральных частях конусов выноса) до 30-70 м (в верхних).

Вторая зона приурочена к периферическим частям конусов выноса и пологой озерно-аллювиальной равнине. Высокое стояние УГВ (от 0-2 до 5-10

м) в ее пределах обусловлено прежде всего резким преобладанием в разрезах тонких генераций осадков в совокупности с незначительными уклонами, затрудняющими отток. Наблюдаемое здесь выклинивание грунтовых вод, в основном, контролируется как долинами рек, так и участками сочленения, в продольном разрезе галечниками с более тонкозернистыми супесчано-глинистыми породами.

Район исследований характеризуется сложным типом гидрогеологических условий орошаемых районов. С поверхности и до глубины в среднем 6 м залегают суглинки средние, тяжелые и легкие с коэффициентом фильтрации, в среднем, 0,43-1,81 м /сут. Для расчета принимаем средний коэффициент, равный 1 м/сут. По данным проведенных откачек из напорного водоносного горизонта было установлено, что водовмещающие породы обладают коэффициентом фильтрации 21,8 м/сут (средняя величина из полученных).

В настоящее время глубина залегания грунтовых вод на массиве составляет 0-5 м и при преобладающих глубинах 1-3 м и 2-3 м. Проектная норма осушения принята равной 1,5 м. Для поддержания грунтовых вод на этой глубине необходимо устройство горизонтального дренажа. Ставится задача – определить значения функции инфильтрации $f(x,y)$ (сброс воды по коллекторно-дренажной сети за пределы территории), обеспечивающие проектные УГВ.

Поставленную задачу целесообразно решить в два этапа. На первом этапе находится управляющая функция $f(x,y)$, обеспечивающая оптимальные УГВ. На втором этапе решается вопрос о том, как отвести лишнюю воду из участка, для чего необходимо определить дебиты дрен и междренные расстояния.

На первом этапе решается плановая задача установившейся фильтрации грунтовых вод в неоднородной пористой среде [1/

$$-\frac{\partial}{\partial x}\left(T\frac{\partial h}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(T\frac{\partial h}{\partial y}\right)+Qh=f(x,y), \quad (x,y)\in D, \quad (1)$$

где $h(x,y)$ – УГВ;

$$T(x,y)=k(h-b) \quad (2)$$

водопроницаемость;

$k(x,y)$ – коэффициент фильтрации покровного слоя; $b(x,y)$ – отметки поверхности раздела между водоносными слоями; $Q(x,y)$ – функция, учитывающая переток из нижележащих слоев; $f(x,y)$ – функция инфильтрации; D – область фильтрации в плане.

На границах области фильтрации задаются краевые условия:

$$T\frac{\partial h}{\partial n}=q_{np}, \quad (x,y)\in\Gamma_1,$$

$$T \frac{\partial h}{\partial n} = 0, \quad (x, y) \in \Gamma_2, \Gamma_4, \quad (3)$$

$$T \frac{\partial h}{\partial n} + \beta h = \alpha, \quad (x, y) \in \Gamma_3,$$

$$\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4 = \partial D,$$

где ∂D – граница области D ; $q_{np}(x, y)$ – подземный приток из предгорной зоны; $\alpha(x, y)$ и $\beta(x, y)$ – функции, определяемые эмпирически.

Поскольку внутри области фильтрации предусматривается устройство горизонтального дренажа, на дренах должны быть заданы внутренние граничные условия

$$-T \frac{\partial h}{\partial n} = \chi(h - h_g), \quad (x, y) \in \Gamma_g, \quad (4)$$

где h_g – уровень воды в дрене; χ – параметр несовершенства дрены; Γ_g – линии дрен.

Задача оптимального управления УГВ ставится следующим образом [2]. Требуется построить такую управляющую функцию $f(x, y)$, которая минимизирует функционал

$$J(f) = \iint_D [h(x, y, f) - \varphi(x, y)]^2 dx dy \rightarrow \min, \quad f \in F. \quad (5)$$

Здесь $h(x, y, f)$ – УГВ, зависящие от функции инфильтрации $f(x, y)$; $\varphi(x, y)$ – заданная функция, равная оптимальному УГВ; F – заданное множество, где определен функционал $J(f)$.

Функция $h(x, y, f)$ определяется из задачи (1)–(4), поэтому сначала рассмотрим алгоритм решения этой задачи. Для ее решения применяется итерационный процесс. Задав в нулевом приближении начальные значения $h^{(0)}(x, y)$ и решая задачу, получаем первое приближение $h^{(1)}(x, y)$. Подставляя $h^{(1)}$ вместо h в (2) и решая задачу еще раз, находим $h^{(2)}$ и т.д. Процесс продолжим до выполнения условия

$$\max |h^{(s)} - h^{(s-1)}| < \varepsilon, \quad (x, y) \in D, \quad (6)$$

где s – номер итерации, $\varepsilon > 0$ – заданное число.

Приближенное решение задачи (1)–(4) ищем с помощью метода Галеркина [3], согласно которому невязки уравнений (1) и (3), (4) должны быть ортогональны базисным функциям. Если функции $N_1(x, y), N_2(x, y), \dots, N_n(x, y)$ образуют базис в рассматриваемом пространстве, то для невязки уравнений (1), (3) и (4) получаем уравнения

$$\iint_D N_j(Lh - f) d\sigma + \int_{\partial D} N_j(lh - \alpha) ds + \int_{\Gamma_g} N_j(l_g h - \alpha_g) ds = 0, \quad (7)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

где

$$L = -\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial}{\partial y} \right) + Q,$$

$$l = T \frac{\partial}{\partial n} - \beta, \quad l_g = T \frac{\partial}{\partial n} - \beta_g,$$

$$\alpha_g = \chi h_g, \quad \beta_g = \chi,$$

$$\alpha = q_{np}, \quad \beta = 0 \text{ на } \Gamma_1,$$

$$\alpha = 0, \quad \beta = 0 \text{ на } \Gamma_2, \Gamma_4.$$

Минимум функционала (7) находится с помощью метода конечных элементов [4], при этом разбиение области D на треугольные элементы производится таким образом, чтобы часть узлов располагалась по линии дрен Γ_g . Внутри треугольника (e) с вершинами i, j, k функция $h(x, y)$ ищется в виде

$$h^{(e)}(x, y) = N_i(x, y)h_i + N_j(x, y)h_j + N_k(x, y)h_k, \quad (8)$$

где h_i, h_j, h_k — значения искомой функции в вершинах треугольника (e) ; N_i, N_j, N_k — базисные функции.

Составляя для каждого элемента выражение вида (8) и суммируя их по всем элементам, получаем разложение для искомой функции

$$h(x, y) = \sum_{e=1}^m h^{(e)}(x, y) = \sum_{i=1}^m h_i N_i(x, y), \quad (9)$$

где m — число элементов, n — число всех узлов сетки.

Подставляя в равенствах (7) вместо функции $h(x, y)$ ее разложение (9), приходим к системе линейных алгебраических уравнений относительно h_i :

$$\sum_{i=1}^n a_{ji} h_i = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} a_{ji} = & \iint_D T \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) d\sigma + \iint_D N_i N_j Q d\sigma + \\ & + \int_{\Gamma_g} N_i N_j \beta_g ds + \int_{\partial D} N_i N_j \beta ds, \\ b_j = & \iint_D N_j f d\sigma + \int_{\Gamma_g} N_j \alpha_g ds + \int_{\partial D} N_j \alpha ds. \end{aligned} \quad (11)$$

В задаче (5) ищется не сама величина $J_* = \inf J(f)$, а функция f_* , в которой функционал $J(f)$ достигает своей нижней грани на множестве F , т.е.

$$f_* \in F_* = \{f : f \in F, J(f) = J_*\}.$$

Эта задача является некорректно поставленной в метрике пространства L_2 , так как полученная тем или иным методом минимизирующая последовательность $\{f_k\}$ может не сходиться к множеству F_* . Другими словами, если в качестве исходных данных, по которым будет определяться приближение F_* , использовать значения минимизируемой функции, то искомое решение может быть не достигнуто, потому что из малости погрешности $J(f_k) - J_*$ не всегда следует близость f_k к F_* в требуемой метрике. Поэтому для приближенного решения некорректных задач требуются специальные методы,

позволяющие с гарантией строить минимизирующие последовательности, сходящиеся к множеству оптимальных функций. Одним из таких методов является метод регуляризации А.Н.Тихонова /5/, согласно которому задача минимизации функционала (5) сводится к нахождению функции $f(x,y)$, доставляющей минимум функционалу /2/

$$J(f) = \iint_D [h(x,y;f) - \varphi(x,y)]^2 d\sigma + \alpha \iint_D f^2(x,y) d\sigma, \quad (12)$$

где $\alpha > 0$ – параметр регуляризации; $h(x,y;f)$ – расчетные значения УГВ, получаемые решением задачи (1)-(4).

В общем случае зависимость функции $h(x,y;f)$ от управления $f(x,y)$ нелинейная, поэтому линеаризуем функцию $h(x,y;f)$ следующим образом:

$$h(x,y;f) = \tilde{h} + \sum_{j=1}^n (f_j - \tilde{f}_j) \frac{\partial h}{\partial f_j} + R_2(\Delta f), \quad (13)$$

где $\tilde{f}$ – значения функции f , полученные в предыдущей итерации; $\tilde{h}$ – соответствующие им значения УГВ; $R_2(\Delta f)$ – остаточный член разложения; $\Delta f = f - \tilde{f}$.

Подставим выражение для функции h из (13) в формулу (12):

$$J(f) \approx \iint_D \left[\tilde{h} + \sum_{j=1}^n (f_j - \tilde{f}_j) \frac{\partial h}{\partial f_j} - \varphi \right]^2 d\sigma + \alpha \iint_D f^2(x,y) d\sigma$$

и к функции многих переменных $J(f)$ применим необходимое условие экстремума:

$$\frac{\partial J(f)}{\partial f_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Имеем

$$\iint_D \left[\sum_{j=1}^n (f_j - \tilde{f}_j) \frac{\partial h}{\partial f_j} + \tilde{h} - \varphi \right] \frac{\partial h}{\partial f_i} d\sigma + \alpha \iint_D f_i(x,y) d\sigma = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

или

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} f_j = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

где

$$a_{ij} = \sum_{j=1}^n \iint_D \frac{\partial h}{\partial f_i} \frac{\partial h}{\partial f_j} d\sigma, \quad i \neq j,$$

$$a_{ii} = \sum_{i=1}^n \iint_D \left(\frac{\partial h}{\partial f_i} \right)^2 d\sigma + \alpha,$$

$$b_i = \iint_D (\varphi - \tilde{h}) \frac{\partial h}{\partial f_i} d\sigma + \sum_{j=1}^n \iint_D \frac{\partial h}{\partial f_i} \frac{\partial h}{\partial f_j} \tilde{f}_j d\sigma.$$

Системы (10) и (14) хорошо обусловлены. и они легко решаются одним из точных или итерационных методов.

Для проведения расчетов по описанному алгоритму в качестве начальных приближений УГВ и инфильтрации берем их состояния на данный момент. Затем придаем функции $f(x,y)$ приращения, пропорциональные разности

$\varphi(x, y) - h(x, y)$, вычисляем матрицу производных $\left(\frac{\partial h}{\partial f}\right)$ и, решив систему (13), находим новое приближение управления $f^{(k)}(x, y)$. Для каждого нового приближения управления вычисляем соответствующие значения УГВ. Признаком окончания счета является выполнение условия типа (6) для функций h и φ .

Список литературы

1. Полубаринова – Кочина П.Я., Пряжинская В.Г., Эмих В.Н. Математические методы в вопросах орошения. – М.: Наука, 1969. – 414 с.
 2. Мурзакматов М.У., Шамырканов М.Б. Приближенное решение задачи оптимального управления уровнем грунтовых вод в однослойных пластах // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, №24. – Бишкек, 2011. – С. 164–166.
 3. Джаныбеков Ч. Моделирование гидрогеодинамических процессов с применением ЭВМ. – Фрунзе: Илим, 1989. – 183 с.
 4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
- Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1974. – 233 с.

УДК 532.546

У.Ж.Душенова, З.С.Турсункулова, А.Болотбеков

ПОИСК КОРНЕЙ И ЗНАЧЕНИЙ НЕИЗВЕСТНЫХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НАИМЕНЬШУЮ ИЛИ НАИБОЛЬШУЮ НЕВЯЗКУ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

В прикладных задачах параметры, характеризующие физико-механические свойства процессов, бывают заранее неизвестными. Если они известны, то они задаются с большими погрешностями, так как при определении параметров лабораторными способами из-за сложности эксперимента допускаются значительные погрешности. Например, коэффициенты теплопроводимостей мерзлых грунтов, коэффициенты диффузии загрязняющих веществ, коэффициенты фильтрации и т.д. Большие погрешности, содержащиеся в исходных данных, влияют на достоверность результатов. Поэтому нахождение этих параметров как решение задачи с заданной точности по косвенно заданной точной информации является важным для прикладных задач. Часто параметры содержатся в нелинейных или трансцендентных уравнениях.

Цель работы заключается в разработке программы на языке программирования C++ для нахождения корней, а в случае отсутствия корней

– нахождения значений неизвестных, обеспечивающих наименьшую или наибольшую невязку нелинейных уравнений.

Методика решения. Существует разные методы решения нелинейных и трансцендентных уравнений вида $f(x)=0$, которые позволяют находить решение уравнения в заданном интервале. Но эти методы не позволяют находить интервал, в котором находится решение, а в случае отсутствия корня, не позволяют находить значение неизвестных, обеспечивающих наибольшую или наименьшую невязку уравнения. В предложенной методике учитываются вышеупомянутые случаи.

Полезность этой работы заключается в том, что она позволяет определять не только корни, но и значения неизвестных параметров, обеспечивающих наименьшее или наибольшее значение невязки уравнения.

Необходимым признаком существования корня уравнения $f(x)=0$ в отрезке $[a, b]$ является условие $f(a)*f(b)<0$. Надо отметить, что в нашем случае интервал $[a, b]$ является неизвестным, и для нахождения корня в программе сначала осуществляется поиск такого интервала. Алгоритм поиска интервала описывается ниже. После нахождения интервала используется метод деления отрезка пополам для нахождения корня уравнения с заданной точностью.

Методика нахождения интервала, содержащего корни нелинейного уравнения, а также методика нахождения наибольшего и наименьшего значения невязки уравнения производятся по следующему алгоритму:

– в начале работы программы вводятся вид нелинейного уравнения и произвольная начальная точка a, с которой начинается поиск интервала, а также величина шага h и точность вычисления корней e;

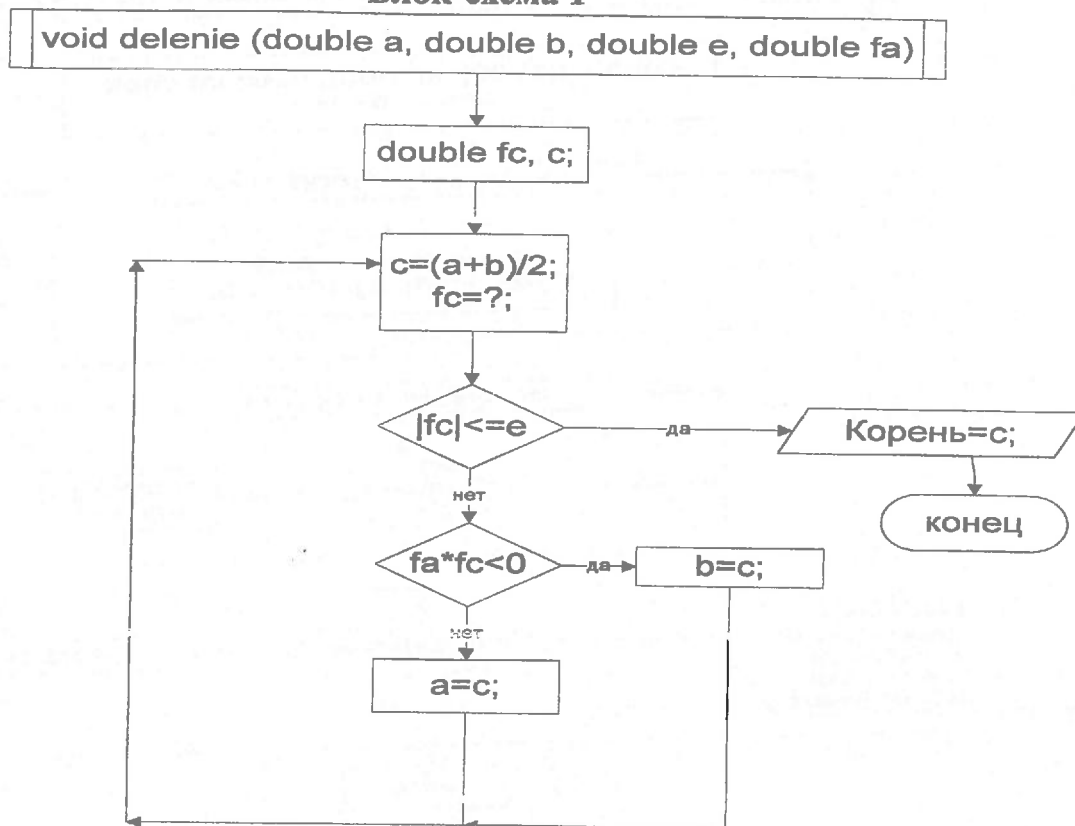
– начиная с точки a с шагом h осуществляется последовательный проход в правую или в левую сторону относительно точки a, пока не выполнится условие существования корня. В каждом случае подсчитываются значения невязки в точках a и b=a+h. Если значения невязки уравнения удовлетворяют в этих точках заданной точности, то соответствующая точка будет являться корнем. В противном случае:

– производится проверка условия существования корня в интервале $[a, b]$ - $f(a)*f(b)<0$. Если это условие выполняется, то на данном отрезке $[a, b]$ существует корень и управление передается подпрограмме `delenie( )`, которая находит этот корень с заданной точностью. В противном случае продолжается поиск интервала. Поиск поводится целенаправленно в сторону приближения к нулю;

– значения неизвестных, обеспечивающих наименьшую или наибольшую невязку нелинейных уравнений, на каждом шаге компьютер проверяет, возрастает или убывает поведение невязки уравнения. Если невязка возрастала и начинает убывать, то в этом интервале находится значение, обеспечивающее наибольшую невязку. Это значение находится с помощью подпрограммы `maximum( )`. Аналогично, если невязка убывала и начинает возрастать, то в этом интервале находится наименьшее значение невязки. Данное значение находится с помощью подпрограммы `minimum( )`.

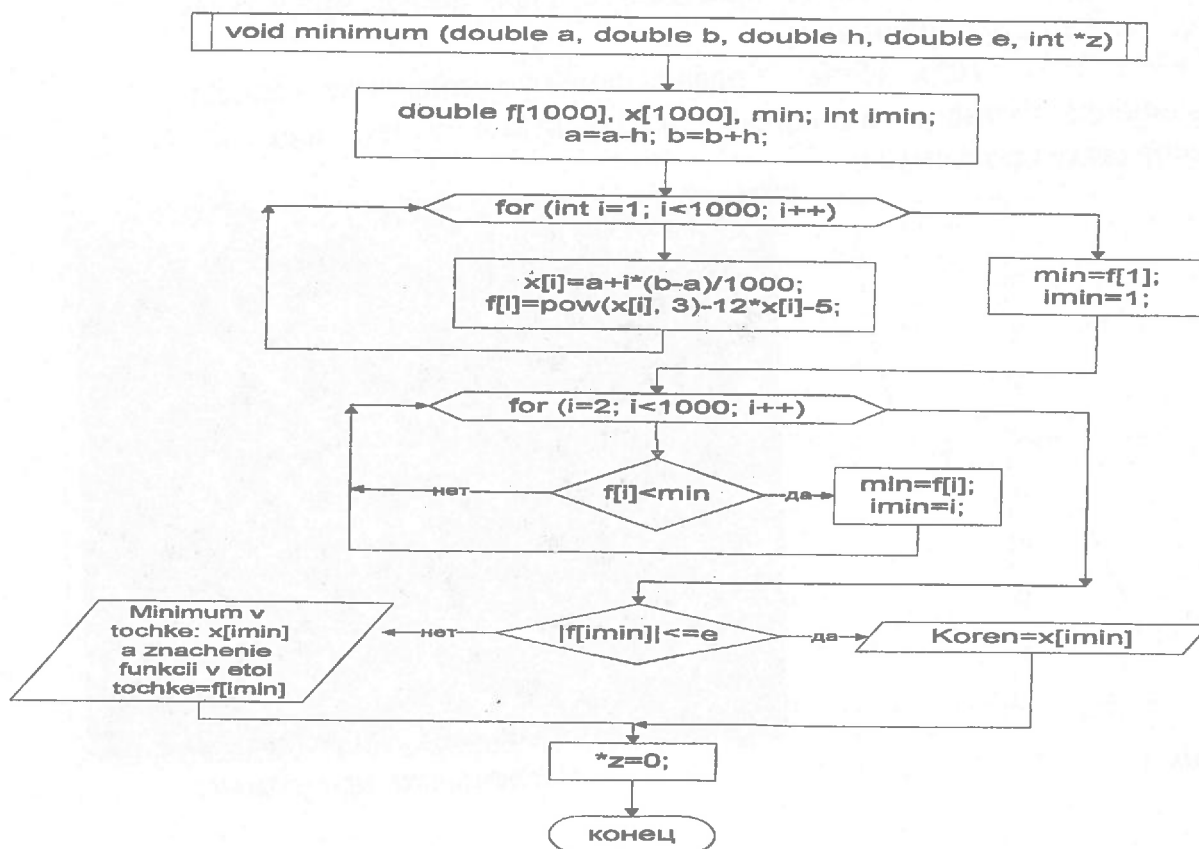
Алгоритм метода деления отрезка пополам приведен на блок-схеме 1.

Блок-схема 1

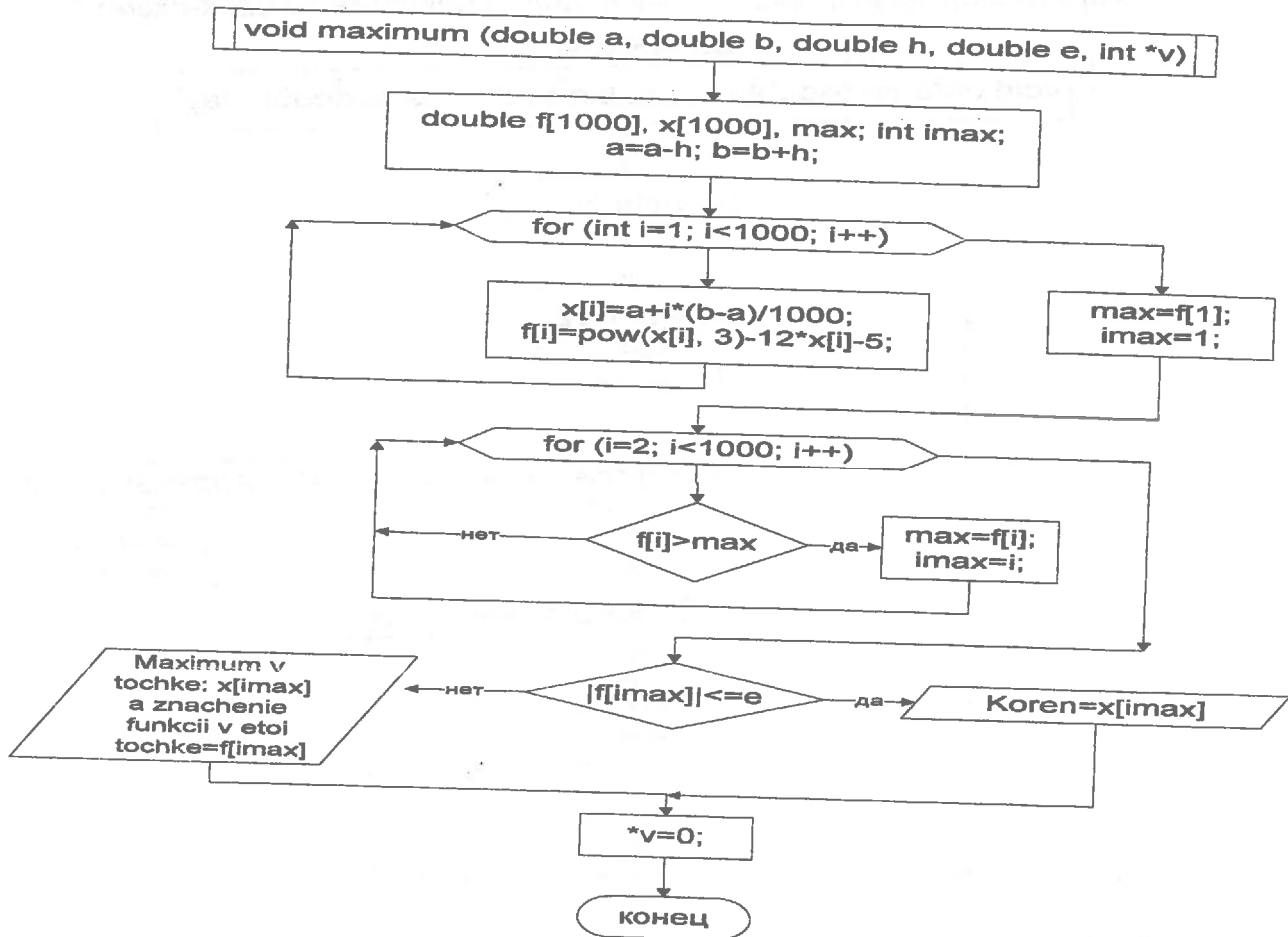


Алгоритмы методов нахождения наименьшего и наибольшего значений невязки уравнения приведены в блок-схемах 2 и 3.

Блок-схема 2



Блок-схема 3



Результаты

Достоверность алгоритма и правильность программы проверялась решением следующих уравнений:

- $x^4 + 3x^3 - 24x^2 + 10x + 15 = 0$. Графическое представление невязки уравнения показано на *графике 1*, а результаты расчета представлены на распечатке программы;

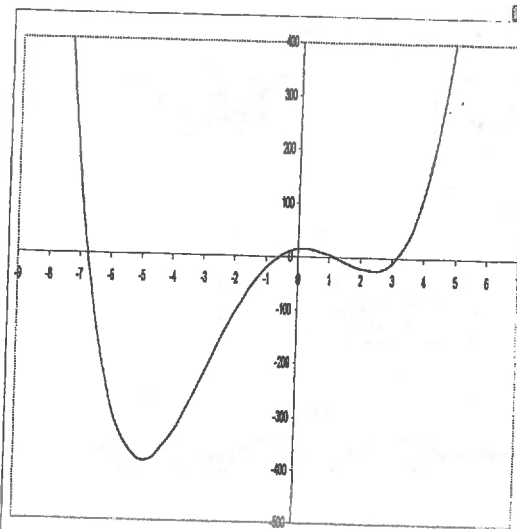


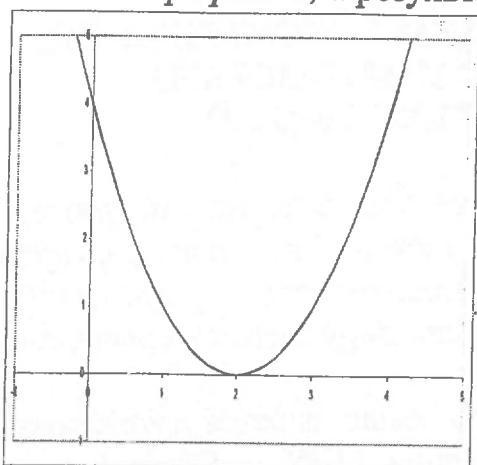
График 1

```

    1  уравнения вида y=A*x^5+B*x^4+C*x^3+D*x^2+E*x+F введите коэффициенты при x:
    2
    3
    4  -24
    5  10
    6  15
    7
    8  дано уравнение вида: y=(0)*x^5+(1)*x^4+(3)*x^3+(-24)*x^2+(10)*x+(15)
    9  введите число a: -4
    10 введите число h: 0.5
    11 корень=-0.596146
    12 минимум в точке: 0.2185 а значение функции в этой точке=16.0728
    13 корень=1.18927
    14 минимум в точке: 2.369 а значение функции в этой точке=-24.6199
    15 корень=3.14196
    16 минимум в точке: -4.8375 а значение функции в этой точке=-386.996
    17 корень=-6.73489
    18 any key to continue
  
```

Распечатка программы

2. $x^2 - 4x + 4 = 0$. Графическое представление невязки уравнения показано на *Графике 2*, а результаты расчета показано на распечатке программы.



```

100 REM *****
110 REM Для уравнения вида y=A*x^5+B*x^4+C*x^3+D*x^2+E*x+F введите коэффициенты при x:
120 A=0
130 B=0
140 C=0
150 D=1
160 E=-4
170 F=4
180 REM Это уравнение вида: y=(0)*x^5+(0)*x^4+(0)*x^3+(1)*x^2+(-4)*x+(4)
190 Введите число a:5
200 Введите число h:0.7
210 Корень=1.9991
220 В значение функции в этой точке=8.1e-027
230 Press any key to continue
  
```

График 2

Распечатка программы

Как видно из результатов расчета, программа работает правильно. Она определяет все корни нелинейных уравнений и находит значения неизвестных, обеспечивающих наибольшее и наименьшее значения невязки. Из графиков видно, что результаты расчета хорошо согласуются с графиком невязки уравнения.

Выводы:

Разработанная программа позволяет находить корни нелинейных уравнений, а в случае отсутствия решения находить наибольшее или наименьшее значение невязки уравнения и будет маленькой подпрограммой большой программы решения прикладной задачи.

Список литературы

1. Джаманбаев М. Дж. Лабораторные работы по вычислительной математике: Учебное пособие / КГТУ им. И. Раззакова. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. – 68 с.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Проблема разработки математических моделей в таких приоритетных для Кыргызстана областях, как производство и транспортировка электроэнергии, горнодобывающая промышленность, предсказание сейсмических катастроф, охрана и восстановление окружающей среды, очень актуальна.

На данном этапе развития науки и науки о Земле имеется потребность в специалистах, имеющих навыки использования ГИС. Географическая Информационная Система (ГИС) широко используется в науках о Земле.

ГИС-технологии позволяют более оперативно и в удобной форме сопоставлять и анализировать различные данные, по-новому взглянуть на имеющуюся информацию, связанную, например, с оценкой сейсмических условий определенных территорий. Особенность этой технологии в том, что картографическая информация соединяется с различными базами данных и послойным отображением информации. На экране компьютера создается картографическое отображение данных о геологическом строении, геофизических полях, сейсмических событиях (инструментальных и макросейсмических данных) в виде слоев, которые можно просматривать как отдельно, так и в любом сочетании друг с другом. Появляется возможность визуально анализировать различные данные и выводить на экран ту или иную информацию об объектах.



Рис 1. Схема ГИС

Сейсмологическая информация имеет в подавляющем большинстве случаев точную координатную привязку, как правило, по трем пространственным координатам. Это относится как к полевым наблюдениям и получаемой при этом первичной информации, так и к характеристикам и свойствам объектов, которые выявляются и оцениваются комплексами исходных данных. На рис. 2 показана карта эпицентров Кыргызстана, оцифрованная на ArgGIS 9.0.

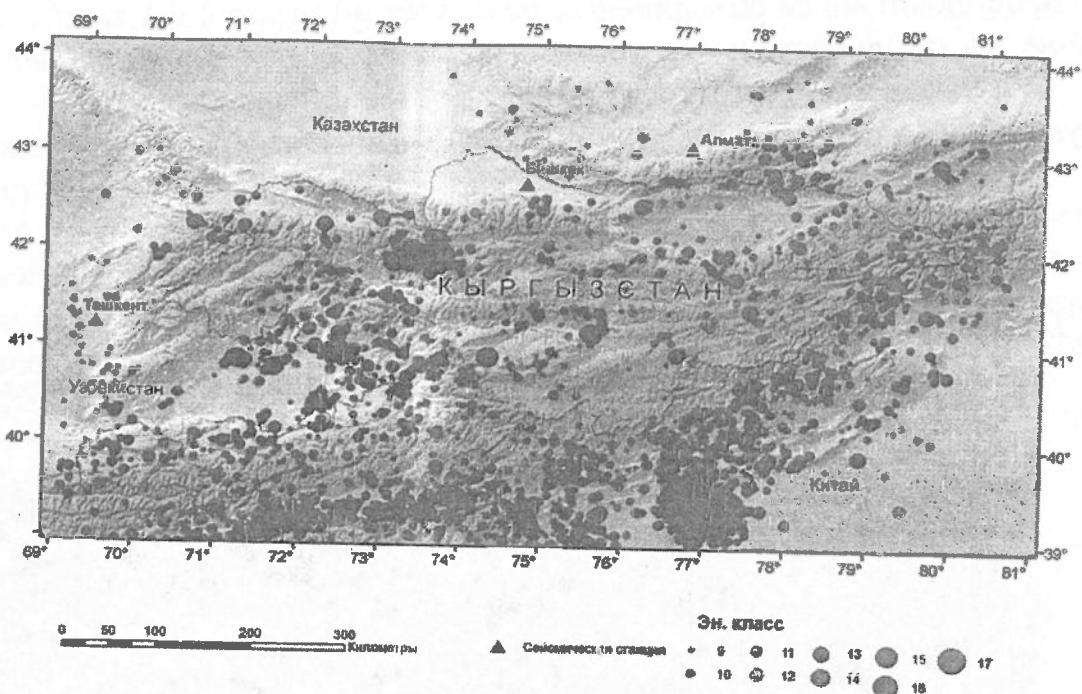


Рис 2. Карта эпицентров землетрясений с $K \geq 9$ Кыргызстана за 2008 год

ГИС общего назначения выполняет пять процедур с данными: ввод, манипулирование, управление, запрос и анализ, визуализацию.

- Ввод. Для использования в ГИС данные должны быть преобразованы в подходящий цифровой формат. Процесс преобразования данных с бумажных карт в компьютерные файлы называется оцифровкой. В современных ГИС этот процесс может быть автоматизирован с применением сканерной технологии, многие данные уже переведены в форматы, напрямую воспринимаемые ГИС-пакетами.

- Манипулирование. Часто для выполнения конкретного проекта имеющиеся данные нужно дополнительно видоизменить в соответствии с требованиями системы. Для совместной обработки и визуализации все данные удобнее представить в едином масштабе. ГИС-технология предоставляет разные способы манипулирования пространственными данными и выделения данных, нужных для конкретной задачи.

- Управление. В небольших проектах географическая информация может храниться в виде обычных файлов. Но при увеличении объема информации и росте числа пользователей для хранения, структурирования и управления данными эффективнее применять системы управления базами данных (СУБД) со специальными компьютерными средствами для работы с интегрированными наборами данных (базами данных). В ГИС наиболее удобно использовать реляционную структуру, при которой данные хранятся в табличной форме.

- Запрос и анализ. Современные ГИС имеют множество мощных инструментов для анализа, среди них наиболее значимы два: анализ близости и анализ наложения. Для проведения анализа близости объектов относительно друг друга в ГИС применяется процесс, называемый буферизацией. Наложение,

или пространственное объединение, позволяет интегрировать данные о почвах, уклоне, растительности и землевладении со ставками земельного налога.

- Визуализация. Для многих типов пространственных операций конечным результатом является представление данных в виде карты или графика. Карта – это очень эффективный и информативный способ хранения, представления и передачи географической (имеющей пространственную привязку) информации.

Созданная пользовательская система для анализа сейсмической обстановки Кыргызской Республики разработана на языке C# с базой данных на MS Access 2007, где главная страница имеет следующий вид (см. рис. 3).



Рис 3. Общий вид разрабатываемой ГИС для анализа сейсмической обстановки Кыргызской Республики

Далее рассмотрим систему визуализации сейсмической обстановки Кыргызской Республики следующих скриншотов: территория областей, сейсмические станции, архив землетрясений (см. рис. 4-7).

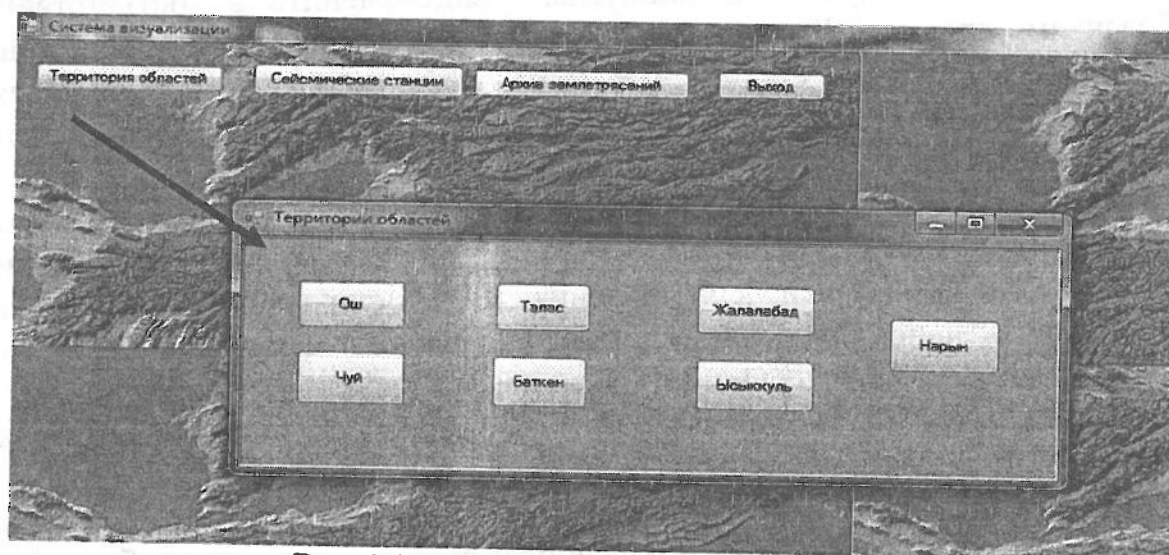


Рис 4. Меню выбора территорий областей

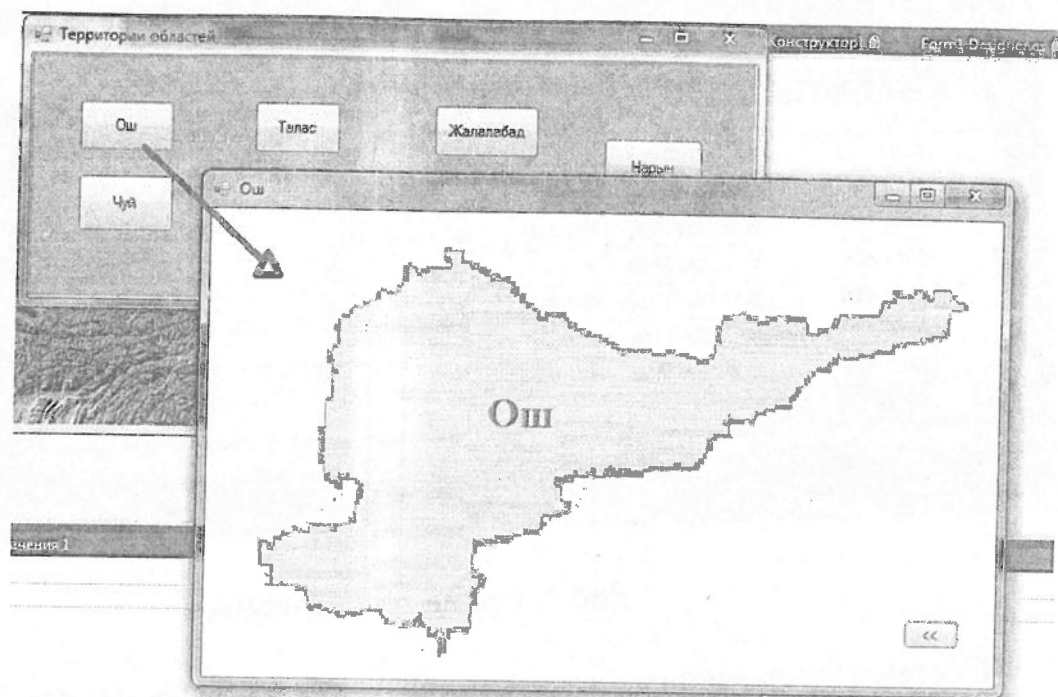


Рис. 5. Территория Ошской области

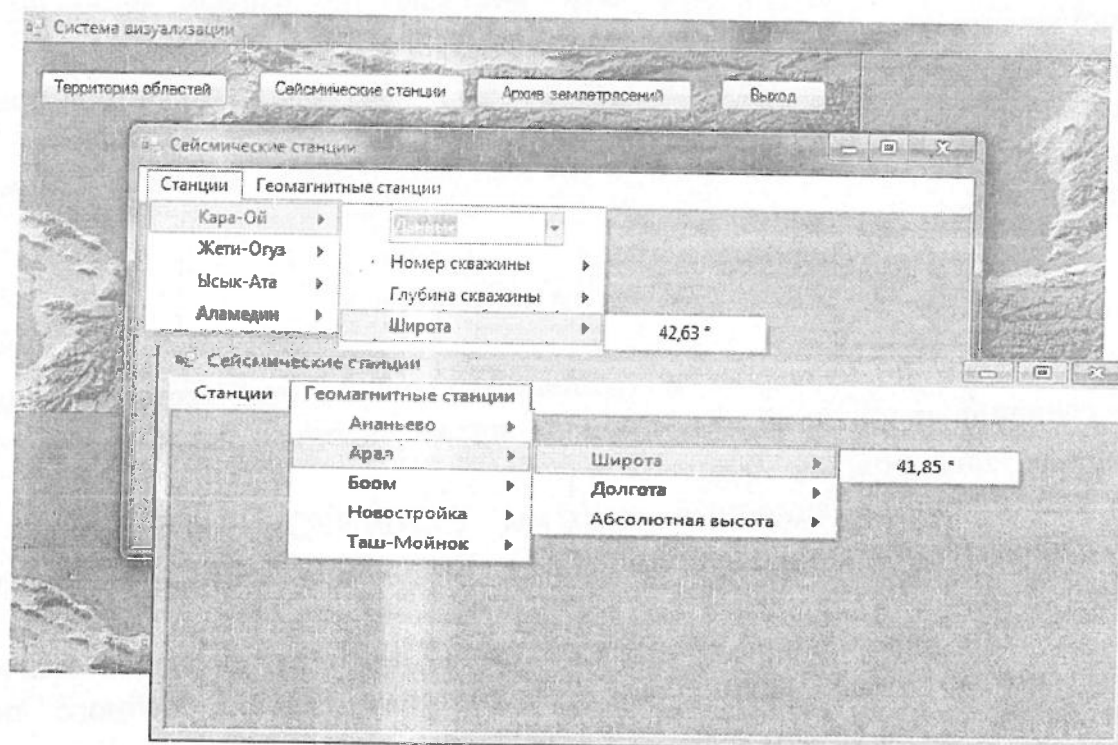


Рис 6. Вывод информации о сейсмических и геомагнитных станциях

Архив землетрясений

Для 8

Дата	Время	Северная	Восточная долг	Энергия класс	Класс точек	Глуб
01.01.2008	30.12.1899 6:32	40.316666	73.033333	13,2	2	16
01.01.2008	30.12.1899 10:48	40.333333	73	10,1	2	19
04.01.2008	30.12.1899 15:38	43.316666	75.383333	10,4	4	12
06.01.2008	30.12.1899 22:09	39,7	74.283333	10,2	5	13
02.02.2008	30.12.1899 12:40	40,716666	73.133333	10,0	2	11
02.02.2008	30.12.1899 16:50	40,216666	72,95	10,1	2	14
03.02.2008	30.12.1899 16:27	40.316666	73,05	10,3	2	9

Выход

Рис 7. Архив землетрясений

Системы управления базами данных предназначены для хранения и управления всеми типами данных, включая географические (пространственные) данные. СУБД оптимизированы для подобных задач, поэтому во многие ГИС встроена поддержка СУБД. Эти системы не имеют сходных с ГИС инструментов для анализа и визуализации. Создаваемая система предназначена для визуализации эпицентров землетрясений в привязке к географической карте. Пользователю будет дана возможность выбрать произвольные подобласти для более детального анализа сейсмической обстановки.

Список литературы

1. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий. Электронная версия учебного пособия Карпика А.П. СГГА. – Новосибирск, 2006.
2. Геоинформационные системы (MAPINFO). Электронная версия методических указаний Трубиной Л.К. и Быковой О.Г. СГГА. – Новосибирск, 2003.
3. Составление и подготовка к изданию карт и атласов с использованием компьютерных технологии. Электронная версия учебного пособия. Б.Н.Маликов, Я.Г.Пошивайло. СГГА. – Новосибирск, 2005.
4. Начало работы с ArcGIS 9. ESRI 2004.
5. Медведев С.В., Шебалин Н.В.С землетрясением можно спорить. – М.: Наука, 1967.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ГИС-СИСТЕМАХ ДЛЯ ОПОЛЗНЕЙ КЫРГЫЗСТАНА

В последнее время объем информации в геолого-геофизической отрасли неуклонно возрастает. Возникают проблемы со сбором, обобщением и хранением имеющейся информации, возможностью оперативного доступа, обработки и анализа. Все эти проблемы решаются с помощью компьютерных геоинформационных технологий. Геоинформационные технологии давно и успешно применяются на разных стадиях геолого-геофизических работ. Для интеграции разнородных и разномасштабных данных в едином связном пространстве используются специализированные геоинформационные системы (ГИС). Они позволяют привязывать информацию к картографическим координатам и представить ее в графическом виде для дальнейшего анализа и принятия решений.

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) стали общепризнанным инструментарием мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС). Этому способствует удобство работы с пространственно-привязанной информацией в рамках ГИС, открытость наиболее распространенных ГИС-продуктов, таких как ArcGIS, MapInfo, ArcView и др., а также широкое распространение геоинформационных систем в смежных областях – геологии, землепользовании, экологии, геомеханике.

Объем пространственной информации неуклонно возрастает. При хранении такой информации в виде карт и схем на бумажных носителях возникают проблемы со сбором, обобщением и хранением имеющейся информации, возможностью оперативного доступа, обработки и анализа. Решение таких задач стало возможным с развитием компьютерных технологий. Возникло новое направление компьютерных технологий – геоинформатика как раздел информатики, оперирующий с пространственно распределенной информацией. Соответственно геоинформационные технологии – это совокупность методов и приемов практического использования достижений геоинформатики для манипулирования пространственными данными, их представления и анализа.

Рассмотрим создание слоев и новых объектов на примере добавления слоя озер Кыргызстана, для этого удобно перемещаться вокруг ArcMap, мы перетащим немного информации к карте, так как в данной карте отсутствуют два важных слоя: дороги и реки

Открыть карту *FirstMap* в папке *Y:\GIS1-Labs\Lab2_ArcMap*

1. Добавление файл слоя

В этой же папке, где наша карта (*Y:\GIS1-Labs\Lab2_ArcMap*), мы найдем файл слоя называемый “*lakes.lyr*”.

Для добавления этого файла к карте нажимаем  и находим файл “*lakes.lyr*”, а затем “Add” (Добавить)

Файл слоя, это не только актуальные ГИС данные, где более коротко говорится о нахождении данных и как рисовать их в ArcMap.

1. Добавление нового слоя из геобазы данных

Найдем слой дорог в геобазе данных Kyrgyzstan DCW

(расположен в: Y:\Kyrgyzstan\GeoData\KyrgyzstanDCW.mdb\transport\roads)

Добавим этот слой таким же путем, как добавили слой озера, но мы должны изменить цвет и символ.

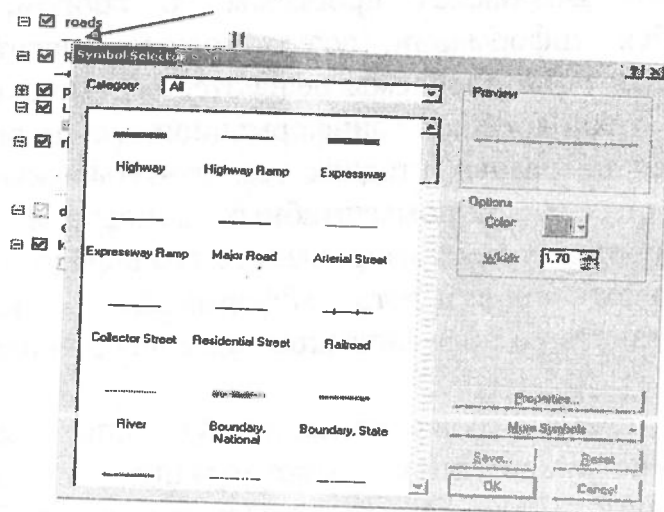


Рис 1. Изменение цвета

2. Компоновка карты

Нам следует подумать о Карте Layout, как о распечатанной и сделать распечатку этой карты. Некоторые из нас могут употребить ее, как Coral Draw, где мы можем установить разные элементы на странице. Например, мы можем установить фото, а затем добавить разные элементы к нему, такие как текст, рамку, 2 фото и др. Это Карта Layout в ArcGis очень схожа с Coral Draw, и мы можем найти ее в виде меню.

1. Щелкнуть меню «View» и «Layout View».

Теперь мы видим карту на виртуальной странице. Слои данных находятся во фрейме данных. Фрейм данных – это способ организации слоев, которые мы хотим поместить на одну карту.

На карте всегда есть хотя бы один фрейм данных с названием *Kyrgyzstan*. мы видим это имя в начале таблицы содержания ArcMap.

Мы можем добавить фреймы данных, чтобы на одном листе карты сравнить два вида одного района или вставить обзорную карту или детальный вид участка.

На *Layout view* мы увидим все фреймы данных. Если мы переключимся обратно на *Data view*, то увидим слои из активного фрейма данных. Активный фрейм выделен в оглавлении жирным шрифтом.

В *Layout view* мы можем изменять форму и положение фрейма данных на странице, добавлять новые картографические элементы, например, легенды и масштабные линейки, и изменять размер и ориентацию страницы.

Панель инструментов *Layout* добавляется в интерфейс ArcMap при выборе Вида компоновки.

В панели инструментов *Layout* мы можем выбрать инструменты для изменения размера и положения виртуальной страницы на нашем экране или масштабировать изображение.

Инструменты из панели инструментов *Tools* в *Layout View* можно также использовать для изменения экстенда слоев, отображенных во фрейме данных.

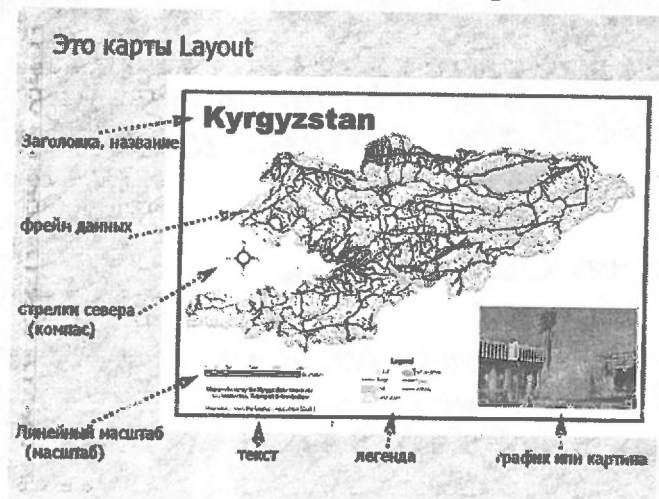


Рис 2. Пример карты

3. Создание диаграммы. Работаем с некоторыми данными Бишкека. В этом упражнении нам нужно сделать копию "*Lab3_Tables*" на диск "Z", так как мы будем создавать новые таблицы, которые будем сохранять в Геобазу данных (GeoDatabase) "*Bishkek.mdb*". Итак, начинаем с ArcCataloga, затем копируем "*Lab3_Tables*" из "Y:\GIS1-Labs" на диск Z:.

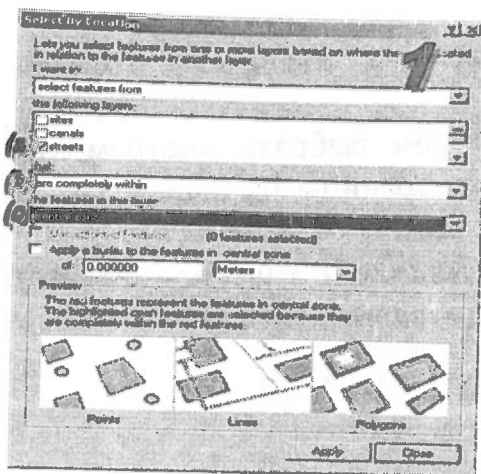
У нас должна быть папка *Lab3_Tables* на диске Z:\ откроем карту "*Exercise.mxd*" который в паке Z:\Lab3_Tables

Заметим, что область центра Бишкека зарисована разными цветами по сравнению с другими. Задача этого упражнения – представлять диаграмму, что все улицы этой области показывали их целую протяженность так, как показано в графике.

Для этого нам нужно делать Выбор по расположению, который описан снизу в шаг 1.

Boltonbaeva	1919.252611
Chui	2185.524906
Ekimik	3595.115833
Frutze	2131.323902
Isanova	2091.225113
Ivanitsyna	1309.473619
Jibek Jolu	2125.630082
Karasuykaya	932.584672
Kievskaya	2193.020330

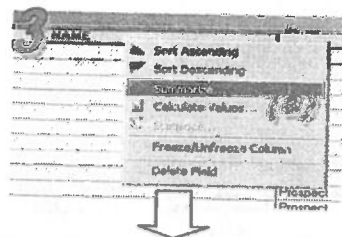




(c)

Рис 3. Пиктограмма «Выбор атрибута»

2. Открыть таблицу атрибутов для Streets
Щелкните правой кнопкой мыши на слой



STREETS и выберите
Открыть таблицу
атрибутов.

3. Создать сумму в таблице streets для полей
names(имя) и length (длина).
- Правой кнопкой мыши на поле NAME и выбирать
SUMMARISE (Суммировать) (a)

- В поле суммировать выбираем NAME (b)
- Включая SHAPE_LENGTH SUM (Сумма форм в
длину) из суммарной статистики(c)

- Результаты таблицы сохраняем в Геобазу данных
«Bishkek» в папку Lab3_Tables на диск Z: \

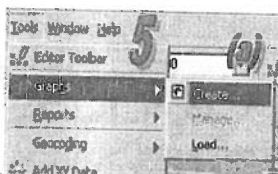
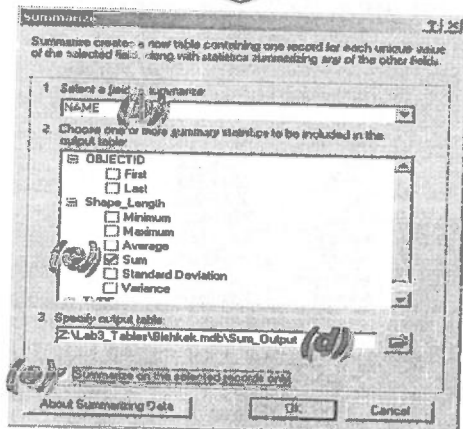
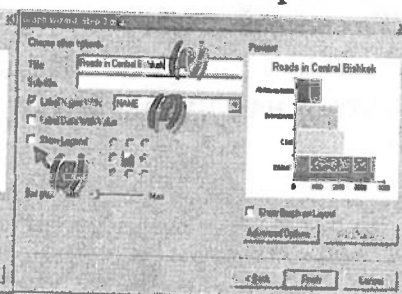
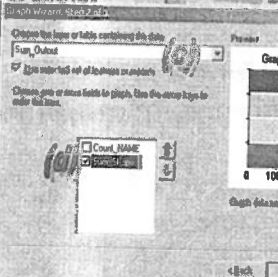
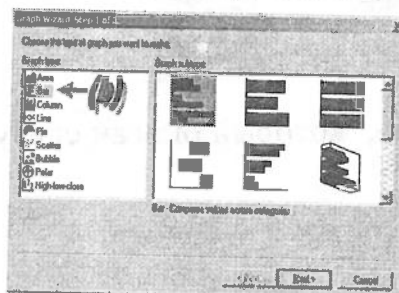


Рис 4. Суммирование и создание
диаграммы



(d)- Удостоверимся, что выбран ☒ «SUMMARISE SELECTED RECORDS
ONLY» (СУММИРОВАТЬ ТОЛЬКО ДЛЯ ВЫДЕЛЕННОЙ ЗАПИСИ) (e)
-Нажмем OK

- В конце закрое таблицу «Атрибутов Streets»

4. Просмотр суммы в таблице

Правой кнопкой мыши нажимаем на новую таблицу SUM_OUTPUT в содержании и выбрать «Открыть», таблица имеет 28 записей. Теперь закрыть таблицу.

5. Создание диаграммы.

- С меню СЕРВИС (TOOLS) выбираем ДИАГРАММА (GRAPHS) и затем СОЗДАЕМ (CREATE) (a)
- выбираем BAR для типа диаграммы и конка ДАЛЕЕ (NEXT) (b)
- SUM_OUTPUT таблица содержащие данные (c)
- SUM_SHAPE_LENGTH (d) использовать в поле - и кнопка ДАЛЕЕ (NEXT)
- Заголовок (Дороги в центре Бишкека) (e)
- На ваше смотрение выбора меток показа абциссы –X с именами (NAME) (f) и легенды(g) и затем ДАЛЕЕ (NEXT)

Преимущество использования геоинформационных технологий состоит в том, что кроме традиционной базы данных появляется координатная привязка объектов исследования, которая наглядно отображает расположение их на карте, позволяет провести пространственный анализ расположения этих объектов относительно других. Применение ГИС-технологий упрощает процесс хранения и редактирования данных, компоновки различных тематических карт, возможность создания высококачественной картографической продукции.

5. **Упражнение Редактирования:** Задача заключается в добавление новых парков к базе данных Бишкека.

1. Копировать папку *Y:\GIS1-Labs\Lab6_Editing* на диск Z.
2. Откроем документ *ArcMap Editing.mdx* в *USTA-GIS\5-Editing\Part_1_Bishkek_Exercise*. В этой карте имеется три слоя: Дороги, Парки и сканированный рисунок карт. Обратим внимание, что парки охватывают улицы центральных линий.



3. Переходя на закладку "Западная автобусная станция", мы заметим, что некоторые парки отсутствуют (b, c, d, e), и один парк не имеет атрибутов, введенных для названий парка (a),

Рис 5. Сканированная карта Бишкека

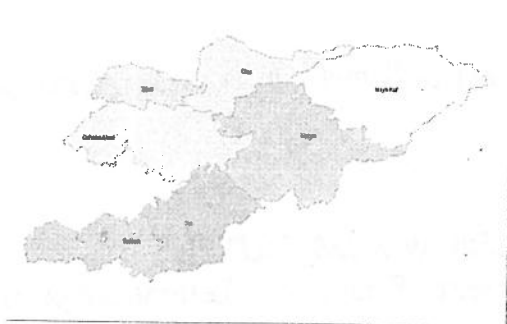
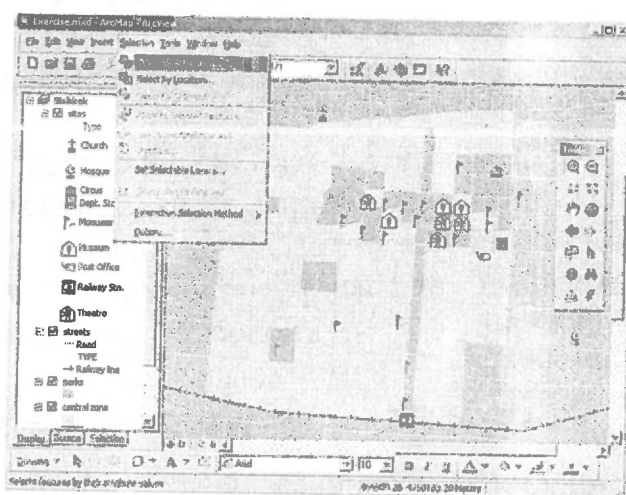


Рис. 6 Области Кыргызстана

4. Добавить 4 отсутствующих парков и обновить атрибуты, где это необходимо.
5. Записать область (в гектарах) по каждому парку a,b,c,d,e в блокноте и сохранить файл в X:Lab.txt

1. Открыть документ *ArcMap Editing.mdx* в Z:\Lab6_Editing\Bishkek. Эта карта – часть парка Бишкека Ботанического сада. Там несколько слоев, но один из них мы будем редактировать, который называется «Восстановление».



Нам нужно добавить 2 полевые области, но не похожая часть, как в 1-м, и не будем работать с мышью, только будем вводить координаты, дистанции и углы через клавиатуру.

2. Следующая картина покажет точные детали для первого поля, которые вы можете найти в увеличенном виде на диске Z:\Lab6_Editing\Bishkek, а file called Cricket.jpg

Рис. 7. Выбор Меню

Выбор по признакам -select by attributes

- Выбор по признака
- (Создание нового выбора)
- (Добавление к текущему выбору)
- (Удаление из текущего выбора)
- (Выбор в текущем выборе)

Создание нового выбора

An SQL statement:-

```
SELECT *
FROM streets
WHERE [NAME] = 'Moscovskaya'
OR [NAME] = 'Toktogula'
```

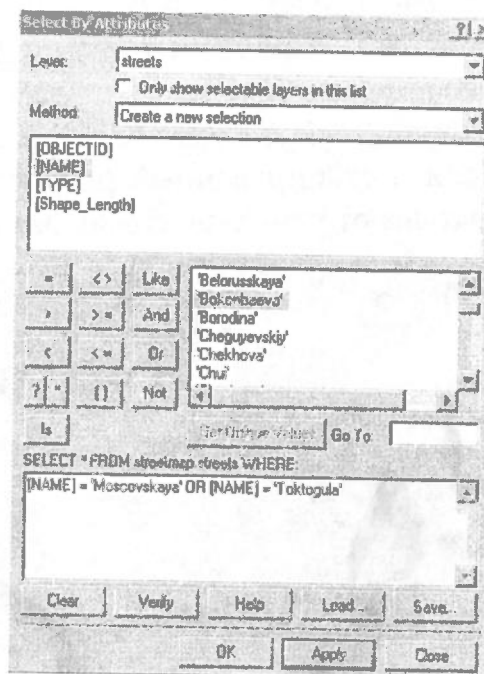


Рис. 8. Создание нового выбора

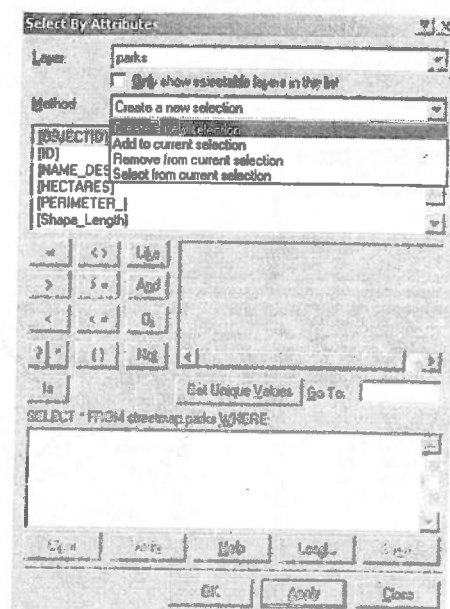
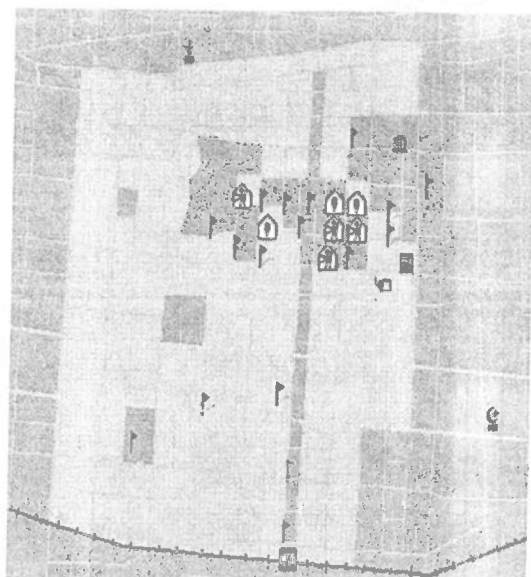


Рис. 8. Выбор улиц в пределах 200 метров от центральной зоны

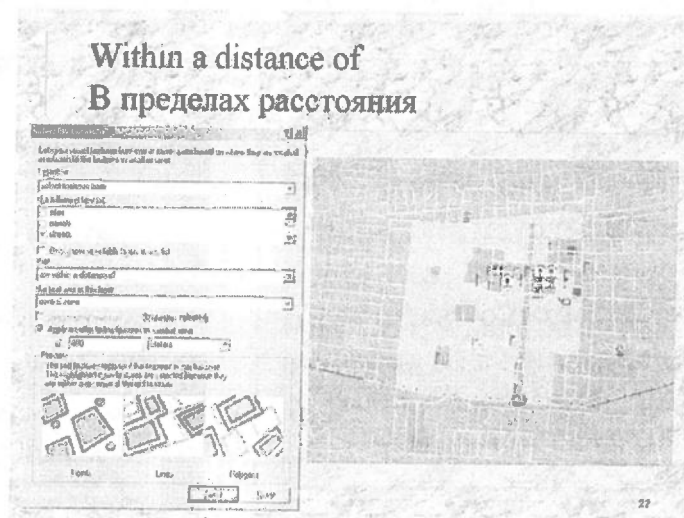


Рис 9. Выборка объектов

Таким образом, применение геоинформационной системы позволяет создавать и использовать многоцелевые базы картографических данных, комплексно анализировать и интерпретировать большие объемы разобщенных разнородных качественных и количественных данных, оценивать и ранжировать характеристические признаки объектов исследования в условиях неоднозначности их связей со свойствами этих объектов, увеличить степень извлечения и использования полезной информации из имеющихся данных, контролировать качество прогнозов до начала натурных наблюдений и оптимизировать сеть этих наблюдений, обеспечить информационную поддержку экспертных решений справочными, фактографическими и аналитическими данными, повысить эффективность труда и сократить сроки работ. Так же добавление слоев применяется для оползней Кыргызстана (см. рис. 10).

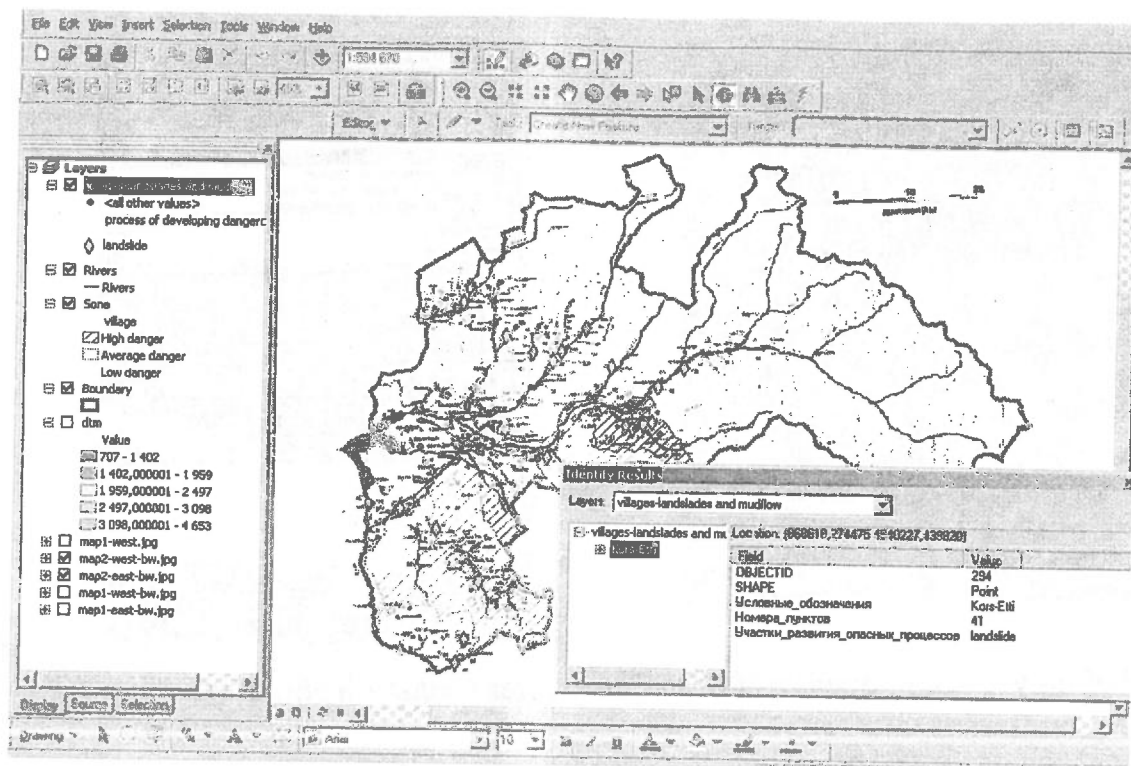


Рис. 10. Добавление слоев оползней, границы Узгенского района, рек

Геоинформационные системы являются инструментом геоинформационных технологий. Они базируются на информации, привязанной к координатам, принятым в картографии, и позволяют представить ее в графическом виде для интерпретации и принятия решений. Таким образом, ГИС можно характеризовать как систему, оперирующую пространственно привязанными данными. Также система оперирует данными непространственного характера (тексты, таблицы, диаграммы), которые связаны с объектами, имеющими пространственную привязку.

Список литературы

1. Геоинформатика. /Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. – М.: Изд-во МАКС Пресс, 2001. – 349 с.
2. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. Часть I. Теоретическая геоинформатика. Вып. I. Изд. ООО СП «Дата+». – М., 1998. – 118 с.
3. Орозобекова А.К. ГИС и экзогенно-катастрофические процессы на территории Кыргызстана (оползни и сели) //Материалы Международной конференции по геодезии и геоинформатике 18-19 октября 2007 г. – Бишкек, 2007. – С.168-173.
4. Орозобекова А.К. Применение ГИС и научно-практические рекомендации по снижению опасности оползневых процессов и селевых потоков //Сборник «Современные проблемы механики сплошных сред / Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии». – Вып.8. – Бишкек, 2008. –С. 30-47.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ МЕТОДА ДАВЫДОВА

В связи с потребностями практики все большее значение приобретает исследование глубокой нелинейности рассматриваемых объектов. При численном моделировании задач механики стало необходимым исследовать нелинейные свойства применяемых разностных схем. Для этого с успехом может применяться аппарат дифференциальных приближений. Разностные схемы метода крупных частиц всегда всесторонне и тщательно исследовались с помощью дифференциальных приближений. Вначале метод дифференциального приближения использовался для анализа диссипативных свойств разностных схем метода крупных частиц, исследования их устойчивости (в том числе в криволинейных системах координат). Была выявлена структура аппроксимационной вязкости, исследовались нелинейные колебания, возникающие при решении эволюционных разностных схем. Далее было введено понятие дифференциального приближения разностных граничных условий и исследована устойчивость на границах расчетной области и в их окрестности с учетом постановки реальных условий (непротекания, вдува, абляции теплозащитного покрытия и др.). Было отмечено существование в вычислительной газовой динамике шести типов матриц аппроксимационной вязкости и найдены связи между ними. В дальнейшем стали рассматриваться матрицы аппроксимационной дисперсии.

Для более глубокого изучения разностных схем следует исследовать более высокие дифференциальные приближения. Были рассмотрены дифференциальные приближения высших порядков для многопараметрического класса разностных схем метода крупных частиц в наиболее общем пространственно-трехмерном случае. При этом было также произведено учтывание влияния разностной постановки граничных условий. Матрицы при четвертых по пространству производных от газодинамических функций авторы называли бивязкостью, при пятых производных – бидисперсией, при шестых производных – тривязкостью.

Получение дифференциальных приближений высоких порядков.

Рассматривается многопараметрический класс разностных схем метода крупных частиц для решения пространственно-трехмерных задач газовой динамики.

Система уравнений газовой динамики для трехмерных нестационарных течений записывается в виде:

$$\begin{aligned}\rho_t + (\rho u)_x + (\rho v)_y + (\rho w)_z &= 0, \\ (\rho u)_t + p_x + (\rho u^2)_x + (\rho uv)_y + (\rho uw)_z &= 0, \\ (\rho v)_t + p_y + (\rho uv)_x + (\rho v^2)_y + (\rho vw)_z &= 0, \\ (\rho w)_t + p_z + (\rho uw)_x + (\rho vw)_y + (\rho w^2)_z &= 0,\end{aligned}\tag{1}$$

$$(\rho E)_t + [(p + \rho E)u]_x + [(p + \rho E)v]_y + [(p + \rho E)w]_z = 0,$$

$$p = p(\rho, J), \quad J = E - \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2).$$

Здесь ρ — плотность, u, v, w — составляющие скорости, $p = p(K, J)$ — давление, $E, J = E - 0,5u^2$ — удельные полная и внутренняя энергия. Для построения разностной схемы система уравнений (1) расщепляется на две:

$$\begin{aligned} \rho_t^{(1)} = 0, \rho^{(1)} u_t^{(1)} + \aleph_{u1} p_x^{(1)} = 0, \rho^{(1)} v_t^{(1)} + \aleph_{v1} p_y^{(1)} = 0, \\ \rho^{(1)} w_t^{(1)} + \aleph_{w1} p_z^{(1)} = 0, \rho^{(1)} E_t^{(1)} + \aleph_{u2} (pu)_x^{(1)} + \aleph_{v2} (pv)_y^{(1)} + \aleph_{w2} (pw)_z^{(1)} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

и

$$\begin{aligned} \rho_t^{(2)} + (\rho u)_x^{(2)} + (\rho v)_y^{(2)} + (\rho w)_z^{(2)} = 0, \\ (\rho u)_t^{(2)} + (1 - \aleph_{u1}) p_x^{(2)} + (\rho u^2)_x^{(2)} + (\rho uv)_y^{(2)} + (\rho uw)_z^{(2)} = 0, \\ (\rho v)_t^{(2)} + (1 - \aleph_{v1}) p_y^{(2)} + (\rho uv)_x^{(2)} + (\rho v^2)_y^{(2)} + (\rho vw)_z^{(2)} = 0, \\ (\rho w)_t^{(2)} + (1 - \aleph_{w1}) p_z^{(2)} + (\rho uw)_x^{(2)} + (\rho vw)_y^{(2)} + (\rho w^2)_z^{(2)} = 0, \\ (\rho E)_t^{(2)} + (1 - \aleph_{u1})(pu)_x^{(2)} + (1 - \aleph_{v2})(pv)_y^{(2)} + \\ + (1 + \aleph_{w2})(pw)_z^{(2)} + (\rho Eu)_x^{(2)} + (\rho Ev)_y^{(2)} + (\rho Ew)_z^{(2)} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Систему (1) будем аппроксимировать следующими разностными формулами:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_{i,j,k}^n &= u_{i,j,k}^n - \frac{p_{i+1,j,k}^n - p_{i-1,j,k}^n}{2\Delta x} \frac{\Delta t}{\rho_{i,j,k}^n} \aleph_{u1}, \\ \tilde{v}_{i,j,k}^n &= v_{i,j,k}^n - \frac{p_{i,j,k+1}^n - p_{i,j,k-1}^n}{2\Delta y} \frac{\Delta t}{\rho_{i,j,k}^n} \aleph_{v1}, \\ \tilde{w}_{i,j,k}^n &= w_{i,j,k}^n - \frac{p_{i,j,k+1}^n - p_{i,j,k-1}^n}{2\Delta z} \frac{\Delta t}{\rho_{i,j,k}^n} \aleph_{w1}, \\ \tilde{E}_{i,j,k}^n &- \aleph_{u2}(1 - \aleph_{u3}) - \frac{\Delta t}{2\Delta x \rho_{i,j,k}^n} \{ p_{i+1/2,j,k}^n ([u_{i+1,j,k}^n] \aleph_{u4} + [u_{i,j,k}^n] \aleph_{u5}) - p_{i-1/2,j,k}^n ([u_{i,j,k}^n] \aleph_{u4} + \\ &+ [u_{i-1,j,k}^n] \aleph_{u5}) \} - \aleph_{u2} \aleph_{u3} \frac{\Delta t}{2\Delta x \rho_{i,j,k}^n} \{ p_{i,j,k}^n [u_{i+1,j,k}^n] \aleph_{u6} + p_{i+1,j,k}^n [u_{i,j,k}^n] \aleph_{u7} - \\ &- p_{i-1,j,k}^n [u_{i,j,k}^n] \aleph_{u6} - p_{i,j,k}^n [u_{i-1,j,k}^n] \aleph_{u7} \} - \aleph_{v2}(1 - \aleph_{v3}) - \\ &- \frac{\Delta t}{2\Delta y \rho_{i,j,k}^n} \{ p_{i,j+1/2,k}^n ([v_{i,j+1,k}^n] \aleph_{v4} + [v_{i,j,k}^n] \aleph_{v5}) - p_{i,j-1/2,k}^n ([v_{i,j,k}^n] \aleph_{v4} + \\ &+ [v_{i,j-1,k}^n] \aleph_{v5}) \} - \aleph_{v2} \aleph_{v3} \frac{\Delta t}{2\Delta y \rho_{i,j,k}^n} \{ p_{i,j,k}^n [v_{i,j+1,k}^n] \aleph_{v6} + p_{i,j+1,k}^n [v_{i,j,k}^n] \aleph_{v7} - \\ &- p_{i,j-1,k}^n [v_{i,j,k}^n] \aleph_{v6} - p_{i,j,k}^n [v_{i,j-1,k}^n] \aleph_{v7} \} - \aleph_{w2}(1 - \aleph_{w3}) - \\ &- \frac{\Delta t}{2\Delta z \rho_{i,j,k}^n} \{ p_{i,j,k+1/2}^n ([w_{i,j,k+1}^n] \aleph_{w4} + [w_{i,j,k}^n] \aleph_{w5}) - p_{i,j,k-1/2}^n ([w_{i,j,k}^n] \aleph_{w4} + \\ &+ [w_{i,j,k-1}^n] \aleph_{w5}) \} - \aleph_{w2} \aleph_{w3} \frac{\Delta t}{2\Delta z \rho_{i,j,k}^n} \{ p_{i,j,k}^n [w_{i,j,k+1}^n] \aleph_{w6} + p_{i,j,k+1}^n [w_{i,j,k}^n] \aleph_{w7} - \\ &- p_{i,j,k-1}^n [w_{i,j,k}^n] \aleph_{w6} - p_{i,j,k}^n [w_{i,j,k-1}^n] \aleph_{w7} \}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$p_{i+1/2,j,k}^n \frac{1}{2} - (p_{i,j,k}^n + p_{i+1,j,k}^n)$$

$$[\varphi_{i,j,k}^n] \alpha = (1 - \alpha) M_{i,j,k}^n + \alpha \tilde{M}_{i,j,k}^n, \quad \varphi = \{u, v, w, E\}$$

Для аппроксимации уравнений лагранжевого и заключительного этапов используется следующая разностная схема:

$$\begin{aligned} (\rho_{i,j,k}^{n+1} - \rho_{i,j,k}^n) \Delta x \Delta y \Delta z &= \langle \Delta M(\rho u) \rangle_{i-1/2,j,k}^n < \Delta M(\rho u) \rangle_{i+1/2,j,k}^n + \langle \Delta M(\rho v) \rangle_{i,j-1/2,k}^n - \\ &- \langle \Delta M(\rho v) \rangle_{i,j+1/2,k}^n + \langle \Delta M(\rho w) \rangle_{i,j,k-1/2}^n - \langle \Delta M(\rho w) \rangle_{i,j,k+1/2}^n, \\ (\rho_{i,j,k}^{n+1} u_{i,j,k}^n \rho_{i,j,k}^n \tilde{u}_{i,j,k}^n) \Delta x \Delta y \Delta z &= -(1 - \aleph_{u1}) - \frac{\Delta t}{2} \Delta y \Delta z (p_{i+1,j,k}^n - p_{i-1,j,k}^n + L_{i,j,k}^n(u), \\ (\rho_{i,j,k}^{n+1} v_{i,j,k}^n \rho_{i,j,k}^n \tilde{v}_{i,j,k}^n) \Delta x \Delta y \Delta z &= -(1 - \aleph_{v1}) - \frac{\Delta t}{2} \Delta x \Delta z (p_{i,j+1,k}^n - p_{i,j-1,k}^n + L_{i,j,k}^n(w), \\ (\rho_{i,j,k}^{n+1} w_{i,j,k}^n \rho_{i,j,k}^n \tilde{w}_{i,j,k}^n) \Delta x \Delta y \Delta z &= -(1 - \aleph_{w1}) - \frac{\Delta t}{2} \Delta x \Delta y (p_{i,j,k+1}^n - p_{i,j,k-1}^n + L_{i,j,k}^n(w), \quad (5) \\ (\rho_{i,j,k}^{n+1} E_{i,j,k}^n \rho_{i,j,k}^n \tilde{E}_{i,j,k}^n) \Delta x \Delta y \Delta z &= -(1 - \aleph_{u2})(1 - \aleph_{u8}) - \frac{\Delta t}{2} \Delta y \Delta z \cdot \{p_{i+1/2,j,k}^n ([u_{i+1,j,k}^n] \aleph_{u9} + \\ &+ [z_{i,j,k}^n] \aleph_{u10}) - p_{i-1/2,j,k}^n ([z_{i,j,k}^n] \aleph_{u9} + [z_{i-1,j,k}^n] \aleph_{u10})\} - (1 - \aleph_{u2}) \aleph_{u8} - \frac{\Delta t}{2} \Delta y \Delta z \{p_{i,j,k}^n [z_{i+1,j,k}^n] \aleph_{u11} + \\ &+ p_{i+1,j,k}^n [u_{i,j,k}^n] \aleph_{u12} - p_{i-1,j,k}^n [u_{i,j,k}^n] \aleph_{u11} - p_{i,j,k}^n [u_{i-1,j,k}^n] \aleph_{u12}\} - (1 - \aleph_{v2})(1 - \aleph_{v8}) - \\ &- \frac{\Delta t}{2} \Delta x \Delta z \{p_{i,j+1/2,k}^n ([v_{i,j+1,k}^n] \aleph_{v9} + [v_{i,j,k}^n] \aleph_{v10}) - p_{i,j-1/2,k}^n ([v_{i,j,k}^n] \aleph_{v9} + [v_{i,j-1,k}^n] \aleph_{v10})\} - \\ &- (1 - \aleph_{v2}) \aleph_{v8} - \frac{\Delta t}{2} \Delta x \Delta z \{p_{i,j,k}^n [v_{i,j+1,k}^n] \aleph_{v11} + p_{i,j+1,k}^n [v_{i,j,k}^n] \aleph_{v12} - p_{i,j-1,k}^n [v_{i,j,k}^n] \aleph_{v11} - \\ &- p_{i,j,k}^n [v_{i,j-1,k}^n] \aleph_{v12}\} - (1 - \aleph_{w2})(1 - \aleph_{w8}) - \frac{\Delta t}{2} \Delta x \Delta y \{p_{i,j,k+1/2}^n ([w_{i,j,k+1}^n] \aleph_{w9} + [w_{i,j,k}^n] \aleph_{w10}) - \\ &- p_{i,j,k-1/2}^n ([w_{i,j,k}^n] \aleph_{w9} + [w_{i,j,k-1}^n] \aleph_{w10})\} - (1 - \aleph_{w2}) \aleph_{w8} - \frac{\Delta t}{2} \Delta x \Delta y \{p_{i,j,k}^n [w_{i,j,k+1}^n] \aleph_{w11} + \\ &+ p_{i,j,k+1}^n [w_{i,j,k}^n] \aleph_{w12} - p_{i,j,k-1}^n [w_{i,j,k}^n] \aleph_{w11} - p_{i,j,k}^n [w_{i,j,k-1}^n] \aleph_{w12}\} + L_{i,j,k}^n(E) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} L_{i,j,k}^n(\varphi) &= \langle \Delta M(\rho u \varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n < \Delta M(\rho u \varphi) \rangle_{i+1/2,j,k}^n + \langle \Delta M(\rho v \varphi) \rangle_{i,j-1/2,k}^n + \\ &+ \langle \Delta M(\rho v \varphi) \rangle_{i,j+1/2,k}^n + \langle \Delta M(\rho w \varphi) \rangle_{i,j,k-1/2}^n + \langle \Delta M(\rho w \varphi) \rangle_{i,j,k+1/2}^n, \\ \varphi &= \{u, v, w, E\} \end{aligned} \quad (6)$$

“Потоки” записываем в виде:

$$\begin{aligned} \langle \Delta M(\rho u) \rangle_{i-1/2,j,k}^n &= \rho(1) \langle u(1) \rangle_{i-1/2,j,k}^n \Delta t \Delta y \Delta z, \\ \langle \Delta M(\rho u \varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n &= \rho(\varphi) \langle u(\varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n < \varphi \rangle_{i-1/2,j,k}^n \Delta t \Delta y \Delta z, \quad \varphi = \{u, v, w, E\}, \end{aligned}$$

где:

$$\langle u(\varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n = \frac{1}{2} ([u_{i-1,j,k}^n] \aleph_{u5}^{\varphi} + [u_{i,j,k}^n] \aleph_{u6}^{\varphi}), \quad \varphi = \{1, u, v, w, E\}$$

$$\langle \rho(\varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n = \aleph_{u1}^{\varphi} \rho_{i-2,j,k}^n + (1 - \aleph_{u1}^{\varphi} - \aleph_{u2}^{\varphi}) \rho_{i-1,j,k}^n + \aleph_{u2}^{\varphi} \rho_{i,j,k}^n,$$

если:

$$\langle u(\varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n \geq 0;$$

$$\langle \varphi \rangle_{i-1/2,j,k}^n = \aleph_{u3}^{\varphi} [\varphi_{i-2,j,k}^n] \aleph_{u7}^{\varphi} + (1 - \aleph_{u3}^{\varphi} - \aleph_{u4}^{\varphi}) [\varphi_{i-1,j,k}^n] \aleph_{u8}^{\varphi} + \aleph_{u4}^{\varphi} [\varphi_{i,j,k}^n] \aleph_{u9}^{\varphi},$$

если: $\langle u(\varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n \geq 0$;

$$\langle \rho(\varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n = \kappa_{u1}^\varphi \rho_{i+1,j,k}^n + (1 - \kappa_{u1}^\varphi - \kappa_{u2}^\varphi) \rho_{i,j,k}^n + \kappa_{u2}^\varphi \rho_{i-1,j,k}^n$$

если: $\langle u(\varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n < 0$;

$$\langle \varphi \rangle_{i-1/2,j,k}^n = \kappa_{u3}^\varphi [\varphi_{i+1,j,k}^n] \kappa_{u7}^\varphi + (1 - \kappa_{u3}^\varphi - \kappa_{u4}^\varphi) [\varphi_{i,j,k}^n] \kappa_{u8}^\varphi + \kappa_{u4}^\varphi [\varphi_{i-1,j,k}^n] \kappa_{u9}^\varphi,$$

если: $\langle u(M) \rangle_{i-1/2,j,k}^n < 0$.

Аналогично определяются $\Delta M_{i,j-1/2,k}^n$ и $\Delta M_{i,j,k-1/2}^n$ (при этом нижний индекс при параметрах " κ " принимает значения v и w соответственно).

Исследование диссипативных, дисперсионных и других свойств многопараметрического класса разностных схем метода крупных частиц для трехмерных течений газовой динамики проводится методом дифференциальных приближений. Вычисление дифференциальных приближений более высоких порядков является трудоемким. Поэтому была использована система аналитических вычислений REDUCE-3: На ЭВМ было вычислено 5 дифференциальных приближений. Результаты аналитических вычислений на ЭВМ ЕС-1061, ЕС-1037 для первого дифференциального приближения полностью соответствуют результатам, полученным Давыдовым Ю.М. Приведем здесь порядок выполнения действий при аналитических вычислениях на ЭВМ.

1. Вводятся как операторы произвольная функция $F(x, y, z, t)$ плотности ρ , компоненты скорости u, v, w , энергия E , а также другие функции, через которые обозначаются разложения в ряд Тейлора выше названных величин, характеризующие состояние газа.

2. Составляются процедуры для разложения произвольной функции $F(x + i\Delta x, y + j\Delta y, z + k\Delta z, t + k1\Delta t)$ в ряд Тейлора по сеточным параметрам $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t, i, j, k1$ — целые константы.

3. С помощью оператора подставки LET величины ρ, u, v, w, E в точках, расположенных в окрестности точки, с координатами соответствующими индексам i, j, k разлагаются в ряд Тейлора. При этом используются выше составленные процедуры.

4. Проводится вычисление потоков массы, импульсов и энергии, то есть:

$$\begin{aligned} &\langle \Delta M(\rho u) \rangle_{i-1/2,j,k}^n, \langle \Delta M(\rho u) \rangle_{i+1/2,j,k}^n, \langle \Delta M(\rho v) \rangle_{i,j-1/2,k}^n, \\ &\langle \Delta M(\rho v) \rangle_{i,j+1/2,k}^n, \langle \Delta M(\rho w) \rangle_{i,j,k-1/2}^n, \langle \Delta M(\rho w) \rangle_{i,j,k+1/2}^n, \\ &L_{i,j,k}^n(M) = \langle \Delta M(\rho u \varphi) \rangle_{i-1/2,j,k}^n - \langle \Delta M(\rho u \varphi) \rangle_{i+1/2,j,k}^n - \langle \Delta M(\rho u \varphi) \rangle_{i,j-1/2,k}^n \\ &\quad - \langle \Delta M(\rho v \varphi) \rangle_{i,j+1/2,k}^n + \langle \Delta M(\rho w \varphi) \rangle_{i,j,k-1/2}^n - \langle \Delta M(\rho w \varphi) \rangle_{i,j,k+1/2}^n. \end{aligned}$$

где $\varphi = \{u, v, w, E\}$.

Следует отметить, что при вычислении членов, возникающих из-за расщепления, создается нежесткий блок.

5. Рассматриваются разностные схемы, аппроксимирующие уравнения лагранжева и заключительного этапов (5).

При этом дифференциальные приближения уравнений неразрывности количества движения и энергии вычисляются в отдельности.

Выпишем первое и последующие дифференциальные приближения многопараметрического класса разностных схем расщепления в общем виде для пространственно-трехмерного нестационарного случая.

Рассматриваются разностные схемы (4), (5), в которых

$$\begin{aligned} \langle u(\varphi) \rangle_{i+1/2,j,k}^n &= \aleph_{u10}^{\varphi} [u_{i-1,j,k}^n] \aleph_{u12}^{\varphi} + (1 - \aleph_{u10}^{\varphi} - \aleph_{u11}^{\varphi}) [u_{i,j,k}^n] \aleph_{u13}^{\varphi} + \aleph_{u11}^{\varphi} [u_{i+1,j,k}^n] \aleph_{u14}^{\varphi}, \\ \langle v(\varphi) \rangle_{i,j+1/2,k}^n &= \aleph_{v10}^{\varphi} [v_{i,j-1,k}^n] \aleph_{v12}^{\varphi} + (1 - \aleph_{v10}^{\varphi} - \aleph_{v11}^{\varphi}) [v_{i,j,k}^n] \aleph_{v13}^{\varphi} + \aleph_{v11}^{\varphi} [v_{i,j+1,k}^n] \aleph_{v14}^{\varphi}, \\ \langle w(\varphi) \rangle_{i,j,k+1/2}^n &= \aleph_{w10}^{\varphi} [w_{i,j,k-1}^n] \aleph_{w12}^{\varphi} + (1 - \aleph_{w10}^{\varphi} - \aleph_{w11}^{\varphi}) [w_{i,j,k}^n] \aleph_{w13}^{\varphi} + \aleph_{w11}^{\varphi} [w_{i,j,k+1}^n] \aleph_{w14}^{\varphi}. \end{aligned} \quad (7)$$

Гиперболическая форма первого и последующих дифференциальных приближений имеет вид (в случае $u, v, w > 0$).

следует заменить $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ на $-\Delta x, -\Delta y, -\Delta z$;

$$\begin{aligned} \rho_t + (u\rho)_x + (v\rho)_y + (w\rho)_z &= \Delta x(u\rho_x)_x (\aleph_{u1}^1 - \aleph_{u2}^1 + \frac{1}{2}) + \Delta x(u_x\rho)_x (\aleph_{u10}^1 - \aleph_{u11}^1 + \frac{1}{2}) + \\ &+ \Delta y(v\rho_y)_y (\aleph_{v1}^1 - \aleph_{v2}^1 + \frac{1}{2}) + \Delta y(v_y\rho)_y (\aleph_{v10}^1 - \aleph_{v11}^1 + \frac{1}{2}) + \Delta z(w\rho_z)_z (\aleph_{w1}^1 - \\ &- \aleph_{w2}^1 + \frac{1}{2}) + \Delta z(w_z\rho)_z (\aleph_{w10}^1 - \aleph_{w11}^1 + \frac{1}{2}) + \Delta t \{ \aleph_{u1}^1 [\aleph_{u10}^1 \aleph_{u12}^1 + (1 - \aleph_{u10}^1 - \aleph_{u11}^1) \aleph_{u13}^1 + \\ &+ \aleph_{u11}^1 \aleph_{u14}^1] p_{xx} + \aleph_{v1}^1 [\aleph_{v10}^1 \aleph_{v12}^1 + (1 - \aleph_{v10}^1 - \aleph_{v11}^1) \aleph_{v13}^1 + \aleph_{v11}^1 \aleph_{v14}^1] p_{yy} + \\ &+ \aleph_{w1}^1 [\aleph_{w10}^1 \aleph_{w12}^1 + (1 - \aleph_{w10}^1 - \aleph_{w11}^1) \aleph_{w13}^1 + \aleph_{w11}^1 \aleph_{w14}^1] p_{zz} - \frac{1}{2} \rho_u \} + D_2^{\rho} + D_3^{\rho} + D_4^{\rho}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} (\rho u)_t + (p + \rho u^2)_x + (\rho uv)_y + (\rho uw)_z &= \Delta x(uu_x\rho)_x (\aleph_{u3}^u - \aleph_{u4}^u + \frac{1}{2}) + \Delta x(uu\rho_x)_x * \\ &* (\aleph_{u1}^u - \aleph_{u2}^u + \frac{1}{2}) + \Delta x(u_xu\rho)_x (\aleph_{u10}^u - \aleph_{u11}^u + \frac{1}{2}) + \Delta y(uv\rho_y)_y (\aleph_{v3}^u - \aleph_{v4}^u + \frac{1}{2}) + \\ &+ \Delta y(uv\rho_y)_y (\aleph_{v1}^u - \aleph_{v2}^u + \frac{1}{2}) + \Delta y(u_yv\rho)_y (\aleph_{v10}^u - \aleph_{v11}^u + \frac{1}{2}) + \Delta z(uw\rho_z)_z (\aleph_{w3}^u - \aleph_{w4}^u + \frac{1}{2}) + \\ &+ \Delta z(uw\rho_z)_z (\aleph_{w1}^u - \aleph_{w2}^u + \frac{1}{2}) + \Delta z(u_zw\rho)_z (\aleph_{w10}^u - \aleph_{w11}^u + \frac{1}{2}) + \Delta t \{ \aleph_{u1}^u [\aleph_{u3}^u \aleph_{u7}^u + \\ &+ (1 - \aleph_{u3}^u \aleph_{u4}^u) \aleph_{u8}^u + \aleph_{u4}^u \aleph_{u9}^u + \aleph_{u10}^u \aleph_{u12}^u + (1 - \aleph_{u10}^u - \aleph_{u11}^u) \aleph_{u13}^u + \aleph_{u11}^u \aleph_{u14}^u] (up_x)_x + \\ &+ \aleph_{v1}^u [\aleph_{v3}^u \aleph_{v7}^u + (1 - \aleph_{v3}^u \aleph_{v4}^u) \aleph_{v8}^u + \aleph_{v4}^u \aleph_{v9}^u] (up_y)_y + \aleph_{u1}^u [\aleph_{u10}^u \aleph_{u12}^u + (1 - \aleph_{u10}^u - \aleph_{u11}^u) \aleph_{u13}^u + \\ &+ \aleph_{u11}^u \aleph_{u14}^u] (vp_x)_x + \aleph_{w1}^u [\aleph_{w3}^u \aleph_{w7}^u + (1 - \aleph_{w3}^u - \aleph_{w4}^u) \aleph_{w8}^u + \aleph_{w4}^u \aleph_{w9}^u] (up_z)_z + \aleph_{u1}^u [\aleph_{u10}^u \aleph_{u12}^u + \\ &+ \aleph_{u11}^u \aleph_{u14}^u] (wp_x)_x - \frac{1}{2} (\rho u)_u \} + D_p^{2x} + D_p^{3x} + D_p^{4x}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} (\rho v)_t + (p + \rho v^2)_y + (\rho uv)_x + (\rho vw)_z &= \Delta x(uv_x\rho)_x (\aleph_{u10}^v - \aleph_{u11}^v + \frac{1}{2}) + \\ &+ \Delta x(uv\rho_x)_x (\aleph_{u1}^v - \aleph_{u2}^v + \frac{1}{2}) + \Delta x(u_xv\rho)_x (\aleph_{u3}^v - \aleph_{u4}^v + \frac{1}{2}) + \\ &+ \Delta y(vv_y\rho)_y (\aleph_{v10}^v - \aleph_{v11}^v + \frac{1}{2}) + \Delta y(vv\rho_y)_y (\aleph_{v1}^v - \aleph_{v2}^v + \frac{1}{2}) + \Delta y(u_yv\rho)_y (\aleph_{v3}^v - \aleph_{v4}^v + \frac{1}{2}) + \\ &+ \Delta z(wv_z\rho)_z (\aleph_{w10}^v - \aleph_{w11}^v + \frac{1}{2}) + \Delta z(wv\rho_z)_z (\aleph_{w1}^v - \aleph_{w2}^v + \frac{1}{2}) + \Delta z(w_zv\rho)_z (\aleph_{w3}^v - \aleph_{w4}^v + \frac{1}{2}) + \\ &+ \Delta t \{ \aleph_{u1}^v [\aleph_{u3}^v \aleph_{u7}^v + (1 - \aleph_{u3}^v \aleph_{u4}^v) \aleph_{u8}^v + \aleph_{u4}^v \aleph_{u9}^v] (up_x)_x + \aleph_{v1}^v [\aleph_{v10}^v \aleph_{v12}^v + (1 - \aleph_{v10}^v - \\ &- \aleph_{v11}^v) \aleph_{v13}^v + \aleph_{v11}^v \aleph_{v14}^v] (vp_y)_y + \aleph_{v1}^v [\aleph_{v3}^v \aleph_{v7}^v + (1 - \aleph_{v3}^v \aleph_{v4}^v) \aleph_{v8}^v + \aleph_{v4}^v \aleph_{v9}^v + \\ &+ \aleph_{v10}^v \aleph_{v12}^v + (1 - \aleph_{v10}^v - \aleph_{v11}^v) \aleph_{v13}^v + \aleph_{v11}^v \aleph_{v14}^v] (vp_y)_y + \aleph_{w1}^v [\aleph_{w3}^v \aleph_{w7}^v + (1 - \aleph_{w3}^v \aleph_{w4}^v) \aleph_{w8}^v \end{aligned}$$

$$+ \aleph_{w4}^v \aleph_{w9}^v](wp_z)_z + \aleph_{v1} [\aleph_{w10}^v \aleph_{w12}^v + (1 - \aleph_{w10}^v - \aleph_{w11}^v) \aleph_{w13}^v + \\ + \aleph_{w11}^v \aleph_{w14}^v](vp_y)_y - \frac{1}{2}(\rho u)_u \} + D_p^{2y} + D_p^{3y} + D_p^{4y}; \quad (10)$$

$$(\rho w)_t + (\rho u w)_x + (\rho v w)_y + (p + \rho w^2)_z = \Delta x(u w_x \rho)_x (\aleph_{u10}^w - \aleph_{u11}^w + \frac{1}{2}) + \Delta x(u w \rho_x)_x * \\ * (\aleph_{u1}^w - \aleph_{u2}^w + \frac{1}{2}) + \Delta x(u_x w \rho)_x (\aleph_{u3}^w - \aleph_{u4}^w + \frac{1}{2}) + \Delta y(v w_y \rho)_y (\aleph_{v10}^w - \aleph_{v11}^w + \frac{1}{2}) + \\ + \Delta y(v w \rho_y)_y (\aleph_{v1}^w - \aleph_{v2}^w + \frac{1}{2}) + \Delta y(v_y w \rho)_y (\aleph_{v3}^w - \aleph_{v4}^w + \frac{1}{2}) + \quad (11)$$

$$+ \Delta z(w w_z \rho)_z (\aleph_{w10}^w - \aleph_{w11}^w + \frac{1}{2}) + \Delta z(v w \rho_z)_z (\aleph_{w1}^w - \aleph_{w2}^w + \frac{1}{2}) + \Delta z(v_z w \rho)_z (\aleph_{w3}^w - \\ - \aleph_{w4}^w + \frac{1}{2}) + \Delta t \{ \aleph_{u1} [\aleph_{u3}^w \aleph_{u7}^w + (1 - \aleph_{u3}^w - \aleph_{u4}^w) \aleph_{u8}^w + \aleph_{u4}^w \aleph_{u9}^w](up_x)_x + \\ + \aleph_{w1} [\aleph_{u10}^w \aleph_{u12}^w + (1 - \aleph_{u10}^w - \aleph_{u11}^w) \aleph_{u13}^w + \aleph_{u11}^w \aleph_{u14}^w](wp_z)_z + \aleph_{v1} [\aleph_{v3}^w \aleph_{v7}^w + \\ + \aleph_{v1} [\aleph_{v3}^w \aleph_{v7}^w + (1 - \aleph_{v3}^w - \aleph_{v4}^w) \aleph_{v8}^w + \aleph_{v4}^w \aleph_{v9}^w](vp_y)_y + \aleph_{w1} [\aleph_{w10}^w \aleph_{w12}^w + \\ + (1 - \aleph_{w10}^w - \aleph_{w11}^w) \aleph_{w13}^w + \aleph_{w11}^w \aleph_{w14}^w](wp_z)_y + \aleph_{w1} [\aleph_{w3}^w \aleph_{w7}^w + (1 - \aleph_{w3}^w - \aleph_{w4}^w) \aleph_{w8}^w + \\ + \aleph_{w4}^w \aleph_{w9}^w](wp_z)_z + \aleph_{w10}^w \aleph_{w12}^w + (1 - \aleph_{w10}^w - \aleph_{w11}^w) \aleph_{w13}^w + \aleph_{w11}^w \aleph_{w14}^w](wp_z)_z - \frac{1}{2}(\rho w)_u \} + D_p^{2z} D_p^{3z} D_p^{4z};$$

$$(\rho E)_t + [(p + \rho E)u]_x + [(p + \rho E)v]_y + [(p + \rho E)w]_z = \Delta x(u E_x \rho)_x (\aleph_{u3}^E - \aleph_{u4}^E + \frac{1}{2}) + \\ + \Delta x(u E \rho_x)_x (\aleph_{u1}^E - \aleph_{u2}^E + \frac{1}{2}) + \Delta x(u_x E \rho)_x (\aleph_{u10}^E - \aleph_{u11}^E + \frac{1}{2}) + \Delta y(u E_y \rho)_y (\aleph_{v3}^E - \\ - \aleph_{v4}^E + \frac{1}{2}) + \Delta y(u E \rho_y)_y (\aleph_{v1}^E - \aleph_{v2}^E + \frac{1}{2}) + \Delta y(u_y E \rho)_y (\aleph_{v10}^E - \aleph_{v11}^E + \frac{1}{2}) + \\ + \Delta z(u E_z \rho)_z (\aleph_{w3}^E - \aleph_{w4}^E + \frac{1}{2}) + \Delta z(u E \rho_z)_z (\aleph_{w1}^E - \aleph_{w2}^E + \frac{1}{2}) + \Delta z(u_z E \rho)_z (\aleph_{w10}^E - \aleph_{w11}^E + \\ + \frac{1}{2}) + \frac{1}{2} \Delta t (\frac{pp}{\rho} x)_{x^1 u^1 \aleph_{u1}} + \frac{1}{2} \Delta t (\frac{pp}{\rho} y)_{y^1 v^1 \aleph_{v1}} + \frac{1}{2} \Delta t (\frac{pp}{\rho} z)_{z^1 w^1 \aleph_{w1}} + \Delta t \{ \aleph_{u1} [\aleph_{u10}^E \aleph_{u12}^E + (1 - \aleph_{u10}^E - \\ - \aleph_{u11}^E) \aleph_{u13}^E + \aleph_{u11}^E \aleph_{u14}^E](Ep_x)_x + \aleph_{v1} [\aleph_{v10}^E \aleph_{v12}^E + (1 - \aleph_{v10}^E - \aleph_{v11}^E) \aleph_{v13}^E + \aleph_{v11}^E \aleph_{v14}^E] * \\ * (Ep_y)_y + \aleph_{w1} [\aleph_{w10}^E \aleph_{w12}^E + (1 - \aleph_{w10}^E - \aleph_{w11}^E) \aleph_{w13}^E + \aleph_{w11}^E \aleph_{w14}^E](Ep_z)_z + [\aleph_{u3}^E \aleph_{u7}^E + (1 - \aleph_{u3}^E - \aleph_{u4}^E) \aleph_{u8}^E + \\ + \aleph_{u4}^E \aleph_{u9}^E](um)_x + [\aleph_{v3}^E \aleph_{v7}^E + (1 - \aleph_{v3}^E - \aleph_{v4}^E) \aleph_{v8}^E + \aleph_{v4}^E \aleph_{v9}^E](vm)_y + \\ + [\aleph_{w3}^E \aleph_{w7}^E + (1 - \aleph_{w3}^E - \aleph_{w4}^E) \aleph_{w8}^E + \aleph_{w4}^E \aleph_{w9}^E](wm)_z - \frac{1}{2}(\rho E)_u \} + D_2^E + D_3^E + D_4^E; \quad (12)$$

где $I_\varphi = \aleph_{\varphi 2} (1 - \aleph_{\varphi 3}) (\aleph_{\varphi 4} + \aleph_{\varphi 5}) + (1 - \aleph_{\varphi 2}) (1 - \aleph_{\varphi 8}) (\aleph_{\varphi 9} + \aleph_{\varphi 10}) + \\ + \aleph_{\varphi 2} \aleph_{\varphi 3} (\aleph_{\varphi 6} + \aleph_{\varphi 7}) + (1 - \aleph_{\varphi 2}) \aleph_{\varphi 8} (\aleph_{\varphi 11} + \aleph_{\varphi 12}), \quad \varphi = \{u, v, w\}, \\ m = \aleph_{u2} (pu)_x + \aleph_{v2} (pv)_y + \aleph_{w2} (pw)_z.$

$$< \rho(\varphi) >_{i,j,k-1/2}^n = \aleph_{w1}^\varphi \rho_{i,j,k \pm 2}^n (1 - \aleph_{w1}^\varphi - \aleph_{w2}^\varphi) \rho_{i,j,k-1}^n + \aleph_{w2}^\varphi \rho_{i,j,k}^n.$$

Список литературы

1. Давыдов Ю.М. Дифференциальные приближения и представления разностных схем. — М.: МФТИ, 1981. — 131 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНО-ФАЗОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Как известно /1, 2, 3, 4/, задача исследования и оптимизации динамики пучка заряженных частиц в различных ускоряющих и фокусирующих структурах во всем объеме представляет собой очень сложную проблему. В связи с этим возникает проблема разработки моделей динамики заряженных пучков в различных ускоряющих и фокусирующих структурах.

В данной работе рассматривается задача моделирования и оптимизации продольного и радиально-фазового движения пучков заряженных частиц в линейном ускорителе.

Процесс ускорения заряженных частиц в ускорителях описан во многих работах /3, 4, 5, 6, 7/. Отмечается, что ускоренный пучок частиц на выходе ускоряющей структуры не является моноэнергетическим. Это связано, во-первых, с неодинаковостью ускоряющих сил, действующих на частицы, проходящих зазор в разных фазах ускоряющего поля, и, во-вторых, с нестабильностью источников питания. Энергетический разброс есть явление, ограничивающее возможности применения ускоренных пучков. В связи с этим возникает проблема выбора параметров ускоряющих и фокусирующих структур, обеспечивающих на выходе минимальный разброс ускоренных частиц по энергиям и обеспечивающих при этом максимальный захват частиц по фазам.

Процесс автофазировки /3, 6/ приводит к распаду пучка в продольном направлении на сгустки, следующие друг за другом с частотой ускоряющего поля, т.е. на частицы, удовлетворяющие определенным начальным условиям и устойчиво группирующиеся в некоторой окрестности синхронной фазы высокочастотного поля. Остальные частицы, не попадающие в устойчивую область около синхронной фазы, в среднем не отбирают энергию высокочастотного поля и выбывают из процесса ускорения /3, 6/.

Необходимо также отметить, что по ходу такого процесса ускорения определенная часть заряженных частиц может быть потеряна. В связи с этим возникает необходимость увеличения количества частиц, захваченных в режим ускорения для улучшения выходных характеристик пучка на выходе ускоряющей структуры.

Для практических применений нужны ускорители, обеспечивающие на выходе пучки с минимальными поперечными размерами, заданными энергетическими и фазовыми спектрами и другими характеристиками /7/. В связи с вышесказанным возникают задачи исследования и оптимизации параметров ускоряющих и фокусирующих структур с целью получения требуемых параметров ускоренных пучков на выходе ускорителя.

Рассмотрим основные уравнения, описывающие динамику частиц в линейных ускорителях.

В процессе ускорения на частицу действуют силы электромагнитного поля. Изменение импульса частицы определяется выражением

$$\frac{dp}{dt} = F, \quad (1)$$

где $F = e[E + V \times B]$ – сила Лоренца, t – время, E – напряженность электрического поля, B – магнитная индукция, e – заряд частицы.

Приведем основные релятивистские соотношения, связывающие массу m , скорость v , импульс p и полную энергию W_{Π} частицы

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

$$W_{\Pi} = W_0 + W_k = mc^2 = \frac{W_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

$$W_0 = mc^2, \beta = v/c.$$

Здесь m_0 – масса покоя частицы, β – приведенная скорость, W_0 – энергия покоя, W_k – кинетическая энергия частицы, c – скорость света.

Введя приведенную энергию $\gamma = W_{\Pi} / W_0$ и используя релятивистское соотношение $\beta = \sqrt{\gamma^2 - 1} / \gamma$, систему уравнений, описывающих продольное движение частиц, запишем в следующем виде:

$$\frac{d\gamma}{dz} = \alpha(z) \cos \varphi, \quad (2)$$

$$\frac{d\varphi}{dz} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\gamma}{\sqrt{\gamma^2 - 1}}, \quad (3)$$

где $\alpha(z) = eE_0(z) / m_0 c^2$ – параметр, характеризующий напряженность ускоряющего поля вдоль оси ускорителя, φ – фаза частицы, λ – длина волны в свободном пространстве.

Выпишем уравнение, описывающее радиальное движение частиц для случая, когда динамика рассматривается в поле стоячей волны с продольной компонентой

$$E_z = E_0(z) \cos(\omega t - \varphi_0),$$

где $E_0(z)$ – амплитуда напряженности электрического поля, φ_0 – начальная фаза частицы, $\omega = 2\pi / \lambda$ – угловая частота ускоряющей волны.

При этом будем предполагать, что ускоряющее поле является аксиально-симметричным, т.е. поле имеет компоненты E_θ , B_z и B_r , равные нулю.

Подставляя значение поля в уравнение радиального движения (1) и учитывая, что сила F_r при сделанных выше предположениях имеет вид:

$$F_r = -\frac{er}{2} \left(\frac{\partial E_z}{\partial z} + \frac{V}{c^2} \frac{\partial E_z}{\partial t} \right), \quad p_r = mr$$

и переходя к дифференцированию по z , получаем систему

$$\frac{dr}{dz} = \chi, \quad (4)$$

$$\frac{d\chi}{dz} = \left\{ \frac{\pi \alpha(z) \sin \varphi}{\lambda \sqrt{\gamma^2 - 1}} - \frac{\gamma \cos \varphi}{2(\gamma^2 - 1)} \frac{d\alpha(z)}{dz} \right\} r - \frac{\gamma \alpha(z) \cos \varphi}{\gamma^2 - 1} \chi. \quad (5)$$

Здесь r – радиус, χ – dr/dz – расходимость.

Систему дифференциальных уравнений (4)-(5) представим в матричном виде

$$\frac{dX}{dz} = P(z)X, \quad (6)$$

где X – двумерный вектор с компонентами $x_1 = r$ и $x_2 = \frac{dr}{dz}$, $P(z)$ – матрица размерности 2×2 :

$$P(z) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \frac{\pi \alpha(z) \sin \varphi}{\lambda \sqrt{\gamma^2 - 1}} - \frac{\gamma \cos \varphi}{2(\gamma^2 - 1)} \frac{d\alpha(z)}{dz} & -\frac{\alpha(z) \gamma \cos \varphi}{\gamma^2 - 1} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Предположим далее, что проекция фазового объема пучка на плоскости r и r' может быть аппроксимирована с достаточной для практических целей точностью некоторым эллипсом.

Пусть множество начальных состояний пучка в плоскости (r, r') описывается эллипсом

$$X_0^* A X_0 = 1. \quad (8)$$

В силу линейности преобразования, описываемого системой дифференциальных уравнений (6), множество частиц исходного эллипса в фазовой плоскости радиуса и расходимости будет заполнять при каждом значении продольной координаты некоторый эллипс. Найдем уравнение этого эллипса.

Решение системы дифференциальных уравнений (6) имеет вид

$$X = R(z/z_0) X_0, \quad (9)$$

где $R(z/z_0)$ – матрицант уравнения.

Выражая X_0 из равенства (9) и подставляя его в условие (8), получаем

$$X^* R^{-1}(z/z_0) A_0 R^{-1}(z/z_0) X = 1.$$

Введем обозначение

$$R^{-1*}(z/z_0) A_0 R^{-1}(z/z_0) = A(z), \quad (10)$$

получаем уравнение искомого эллипса

$$X^* A(z) X = 1.$$

Обозначим:

$$S(z) = A^{-1}(z) = \frac{1}{\det A} \begin{pmatrix} a_{22} & -a_{12} \\ -a_{21} & a_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix}.$$

Тогда из выражения (10) следует, что

$$S(z) = R(z/z_0) S_0 R^*(z/z_0).$$

Диагональные элементы матрицы $S(Z)$ удовлетворяют условию [8]:

$$S_{ii}(z) = x_{i\max}^2(z), \quad i = 1, 2,$$

$$x_{1\max}^2(z) = \max_{x_0 A_0 x_0 = 1} r^2(z, x_0),$$

$$x_{2\max}^2(z) = \max_{x_0, A_0, x_0=1} r^2(z, x_0),$$

где x_i – максимальное отклонение по радиусу и по расходимости на множестве (9).

А матрица $S(z)$ удовлетворяет следующему уравнению:

$$\frac{ds(z)}{dz} = P(z)S + SP^*(z),$$

где $P(z)$ – матрица, определяемая формулой (9).

Учитывая равенство элементов S_{12} и S_{21} матрицы $S(z)$ и представление (7) матрицы $P(z)$, получаем

$$\frac{dS_{11}}{dz} = 2S_{12}, \quad (11)$$

$$\frac{dS_{12}}{dz} = \left\{ \frac{\pi \alpha(z) \sin \varphi}{\lambda \sqrt{\gamma^2 - 1}} - \frac{\gamma \cos \varphi}{2(\gamma^2 - 1)} \frac{d\alpha(z)}{dz} \right\} S_{11} - \frac{\gamma \alpha(z) \cos \varphi}{\gamma^2 - 1} S_{12} + S_{22}, \quad (12)$$

$$\frac{dS_{22}}{dz} = 2 \left\{ \frac{\pi \alpha(z) \sin \varphi}{\lambda \sqrt{\gamma^2 - 1}} - \frac{\gamma \cos \varphi}{2(\gamma^2 - 1)} \frac{d\alpha(z)}{dz} \right\} S_{12} - \frac{2\alpha(z) \cos \varphi}{\gamma^2 - 1} S_{22}. \quad (13)$$

В этих уравнениях S_{11} – величина, характеризующая максимальное отклонение частиц пучка по радиусу, S_{12} – величина, характеризующая угол наклона главных осей эллипса фазовых состояний относительно координатных осей, S_{22} – величина, характеризующая максимальное отклонение частиц пучка по расходимости dr/dz .

Из системы (11)-(13) видно, что эти уравнения существенно зависят от фазовых переменных: энергии γ и фазы φ .

Следовательно, чтобы найти их решения, нужно присоединить к этим уравнениям уравнения (2), (3), описывающие продольное движение заряженных частиц.

Таким образом, система дифференциальных уравнений (2)-(3) и (11)-(13) описывает преобразование в фазовом пространстве переменных r и r' эллипса начальных состояний пучка частиц по радиусу и расходимости в зависимости от фазового движения.

Отсюда видно, что полученную модель радиально-фазового движения частиц в линейном ускорителе можно эффективно исследовать, рассматривая систему (2), (3), описывающую продольное движение частиц, и систему (11)-(13), описывающую изменение огибающих по радиусу и расходимости.

Список литературы

1. Андрианов С.Н., Дымников А.Д., Осетинский Г.М. Об оптимальном управлении пучками заряженных частиц // ОИЯИ Препринт VI – 9 – 12851. – Дубна, 1979. – 24 с.

2. Капчинский И.М. Динамика частиц в линейных резонансных ускорителях. – М.: Атомиздат, 1966. – с. 310.

3. Линейный ускоритель ионов. Т.І. Проблемы и теория /Под ред. Б.П. Мурина. – М.: Атомиздат, 1978. – 264 с.
4. Овсянников Д.А. Математические методы управления пучками. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. – 228 с.
5. Вальднер О.А., Власов А.Д., Шальнов А.В. Линейные ускорители. – М.: Атомиздат, 1969. – С. 248.
6. Власов А.Д. Теория линейных ускорителей. – М., 1965. – С. 308.
7. Рошаль А.С. Моделирование заряженных пучков. – М., 1979. – 224 с.
8. Овсянников Д.А. Математические методы оптимизации динамики пучков. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. – 292 с.

УДК 517

А.А.Елеуов, Р.А. Елеуова, Б.К.Алимбаева

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД СУЖЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

Линейный оператор L с областью определения $D(L)$, $D(\tilde{L}) \subset H$ называется максимальным, если L замкнут и уравнение $Lu = f \in H$ имеет решение $u \in D(L)$ для любого H .

Оператор $\tilde{L}$ называется сужением L , если $D(\tilde{L}) \subset D(L)$ и при $x \in D(\tilde{L})$ выполнено равенство $\tilde{L}x = Lx$. Сужение $\tilde{L}$ максимального оператора L называется корректным, если уравнение $\tilde{L}u = f$ имеет единственное решение из $D(\tilde{L})$, удовлетворяющее оценке

$$|u| \leq C|\tilde{L}u|, \quad (u \in D(\tilde{L})) \quad (1)$$

где C – не зависит от $u \in D(\tilde{L})$

Обозначим $R = \text{Ker} L = \{u : u \in D(L), Lu = 0\}$ – это множество замкнутого подпространства в H и называется ядром оператора L .

Если $R = 0$, то единственным корректным сужением L является он сам.

Теорема 1. а) Пусть L_Φ – некоторое корректное сужение L . Тогда

а) Если $\tilde{L}$ некоторое корректное сужение L , то существует непрерывное преобразование K , действующее из H в R , и выполнено

$$\tilde{L}^{-1} = L_\Phi^{-1} + K, \quad (2)$$

б) Если K – непрерывное преобразование $K : H \rightarrow R$, то формула (2) определяет оператор, обратный к корректному сужению L .

Доказательство. Докажем а).

Возьмем $K = \tilde{L}^{-1} - L_\Phi^{-1}$. Имеем

$$LKf = L\tilde{L}^{-1}f - LL_\Phi^{-1}f = f - f = 0$$

Отсюда следует $Kf \in R = \text{Ker} L$. Пункт а) доказан.

Докажем б). Пусть $K : H \rightarrow R$. Так как $R \in D(L)$, имеем

$$L[L_\Phi^{-1}f + Kf] = LL_\Phi^{-1}f + LKf = f$$

Отсюда следует, что формулой (2) задается оператор, обратный к $\tilde{L}$ – корректному сужению L , с областью определения

$$D(\tilde{L}) = \{u : u = L_\Phi^{-1}f + Kf, f \in H\}$$

Единственность решения уравнения $Lu = f, u \in D(\tilde{L})$ и наличие оценки $|u| \leq C|\tilde{L}u|$, $u \in D(\tilde{L})$ тривиально. Теорема доказана.

Обычно трудно определить $R = \text{Ker} L$. Поэтому следующий результат более эффективен, чем результат теоремы 2.1.

Теорема 2. Пусть L_Φ – некоторое корректное сужение оператора L . Тогда справедливы а) и б):

а) Пусть $K : H \rightarrow D(L)$. Тогда оператор

$$L_K^{-1}f = L_\Phi^{-1}f + (E - L_\Phi^{-1}L)Kf. \quad (3)$$

Есть оператор, обратный к некоторому корректному сужению L_K оператора L .

б) Обратно, если $\tilde{L}$ – некоторое корректное сужение оператора L , то существует $K : H \rightarrow D(L)$ такой, что верна формула (3):

$$\tilde{L}^{-1}f = L_\Phi^{-1}f + (E - L_\Phi^{-1}L)Kf.$$

Доказательство. Докажем б). Утверждение б) теоремы 2 сразу вытекает из утверждения а) теоремы 1.

Докажем а). Пусть $K : H \rightarrow D(L)$. Определим сужение L_K оператора L с областью определения

$$D(L_K) = \{u : u = L_\Phi^{-1}f + (E - L_\Phi^{-1}L)Kf, f \in H\}.$$

Имеем

$$L[L_\Phi^{-1}f + (E - L_\Phi^{-1}L)Kf] = LL_\Phi^{-1}f + L(E - L_\Phi^{-1}L)Kf = f + LKf - LL_\Phi^{-1}LKf = f.$$

Единственность $u \in D(L_K)$ и наличие оценки $|u| \leq C|Lu|$ тривиально из теоремы 2. Теорема доказана.

Замечание 1. Пусть L_0 – линейный минимальный оператор. Тогда L_0^* – будет максимальным линейным оператором (в случае, когда они рассматриваются в гильбертовом пространстве H). Предположим, что $D(L_0) \subseteq D(L)$, $Ly = L_0y$ при $y \in D(L_0)$ и уравнение $Ly = f \in H$ имеет единственное решение y из $D(L)$.

Из включения $L_0 \subseteq L$ вытекает $L_0^* \supseteq L^*$. Так как L – обратимый и $D(L^{-1}) = H$, то L^{*-1} – также обратим и оператор $D(L^{*-1}) = H$. Следовательно L^* – есть линейное корректное сужение L_0^* . Обратно, имея линейное корректное сужение оператора L_0^* , переходя к сопряженным, получаем корректное расширение L_0 .

Таким образом, умея описать линейные корректные сужения, получаем возможность описывать корректные расширения линейного минимального оператора.

Список литературы

1. Отелбаев М. Шыныбеков А.Н. О корректных задачах типа Бицадзе-Самарского. // Доклады АН СССР. – № 4, 265, 1982. – С.815-819.
2. Отелбаев М. Кокебаев Б.К., Шыныбеков А.Н. К теории сужений и расширений операторов // Изв. АН КазССР. – Сер. физ.-мат. – № 5. – 1982. – С.24-26.
3. Отелбаев М. Кокебаев Б.К., Шыныбеков А.Н. К вопросам расширения и сужения операторов // Доклады АН СССР. – № 4, 271. – 1983. – С.1307-1311.
4. Херминдер Л. Линейные дифференциальные операторы. – М.: Мир, 1965.
5. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1981. – С.512.
6. Соболев В.И., Люстерник Л.А. Функциональный анализ. – М., 1965.

УДК 621.548

А.К.Тулепбергенов

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕТРОТУРБИНЫ ДАРЬЕ

В статье приводятся результаты экспериментального исследования закономерностей взаимодействия стационарного воздушного потока с четырехлопастной ветротурбиной Н-ротора /1-9/. Эксперименты проводились с действующей лабораторной моделью ветротурбины в аэродинамической трубе АО НИИ "Гидроприбор" /1-4/. С целью увеличения воздействия вращающейся турбины на воздушный поток и, соответственно, изучения поведения последнего при прохождении ветротурбины исследование проводилось на четырехлопастной модели ветротурбины Дарье (рис. 1).

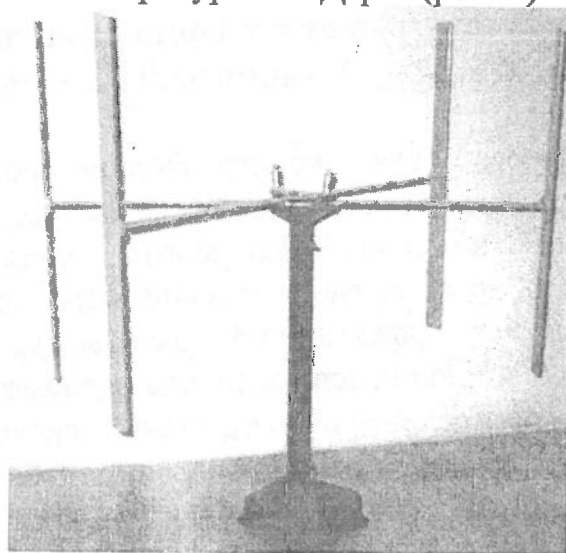


Рис. 1. Фотография действующей лабораторной модели четырехлопастной ветротурбины Дарье

В этой работе рассматривается сравнение результатов теоретического расчета с экспериментом и изложены результаты экспериментального исследования воздействия вращающейся турбины на набегающий поток, из которых некоторые получены автором. Чтобы усилить влияние турбины на поток и более явно выяснить характер их взаимодействия, была выбрана четырехлопастная турбина Дарье. Эти эксперименты были проведены в аэродинамической трубе АО «НИИ Гидроприбор» г.Уральск. Автором разработана математическая модель /4/, основанная на методах векторного анализа с использованием представления о взаимодействии элементарных трубок тока с движущейся рабочей лопастью. Проведены расчеты и анализ результатов расчета основных характеристик.

На рис. 2 представлены данные по зависимости $\xi(Z)$ для аппаратов с турбиной Дарье. Как видно из рисунка, результаты наших расчетов достаточно хорошо согласуются с известными в литературе /1, 2/ опытными данными.

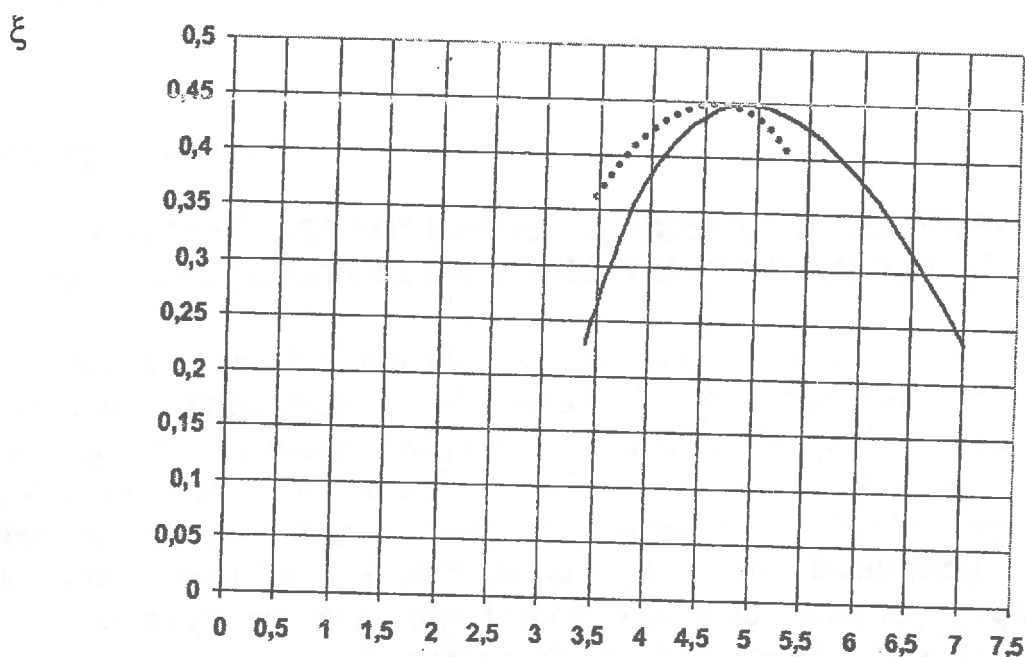


Рис. 2. Зависимость коэффициента использования энергии ветра ξ от быстроходности $Z = r_0 \omega / V_\infty$: 1 – взято из /1/, 2 – результаты расчета

Представляет интерес для конструкторов-проектировщиков знать соотношение длины хорды рабочих лопастей с диаметром турбины и выяснить наиболее подходящее их отношение. Такая работа в экспериментальном плане выполнена в /2/. На основе прямого физического эксперимента авторы установили, что наибольшая эффективность работы турбины Дарье типа Н-ротор наблюдается при отношении длины хорды к диаметру, турбины равном 0,125. В этой связи нами проведены специальные расчеты по определению зависимости коэффициента использования энергии ветра (ξ) от относительной длины хорды (h/d). Результаты расчета приведены на рис. 3. Как видно из этого

рисунка, максимальное значение коэффициента (ξ) от относительной длины хорды (h/d) приходится на ту же величину $h/d=0,125$, что и у авторов работы [2/].

Развитая в диссертации математическая модель взаимодействия вращающейся ветротурбины Дарье с воздушным потоком позволила провести сопоставление опытных данных по распределению скорости и статического давления непосредственно за турбиной. Соответствие расчетных и экспериментальных данных вполне удовлетворительно, что показано на рис. 4, 5.

Сравнить удастся только с данными эксперимента, полученными непосредственно за вращающейся турбиной (рис. 4, 5).

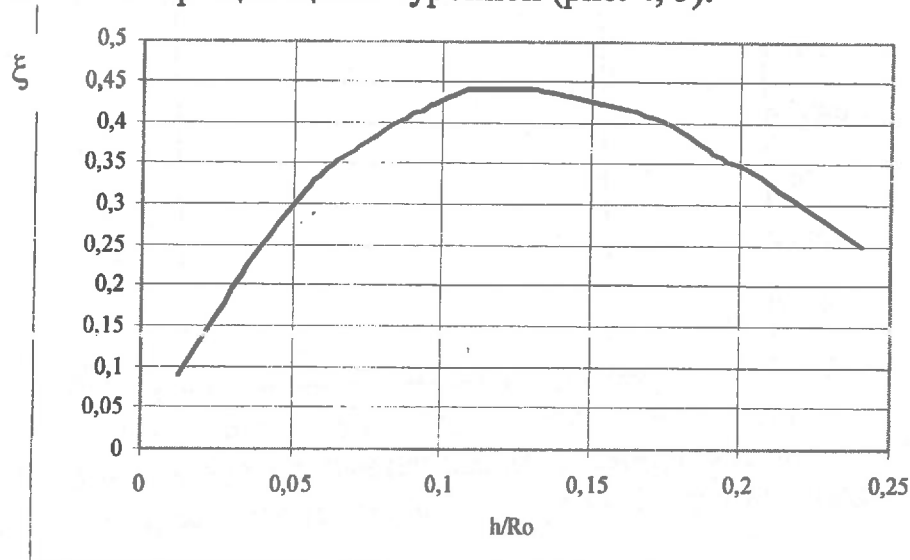


Рис. 3. Зависимость коэффициента использования энергии ветра ξ от относительной длины хорды рабочей лопасти h/d

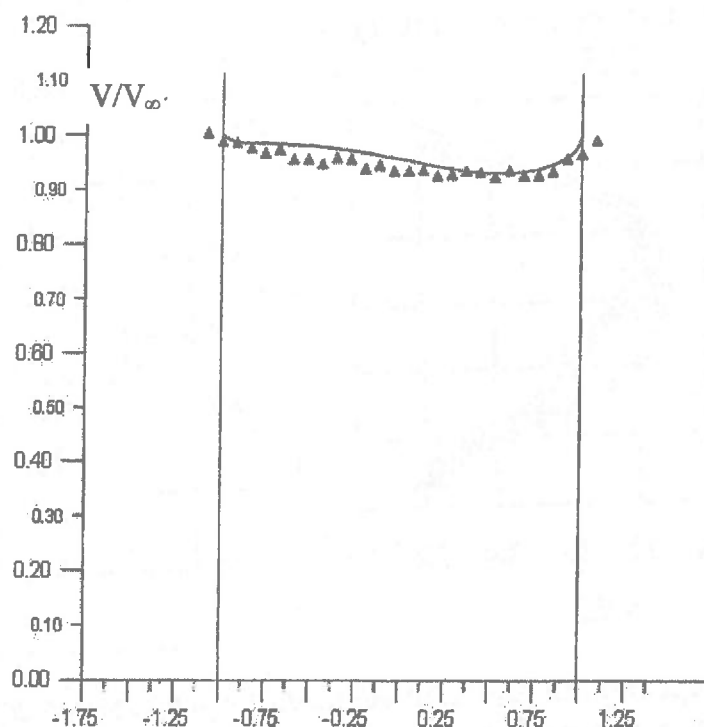


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных распределения скорости потока за турбиной с результатом теоретического расче u/r_o

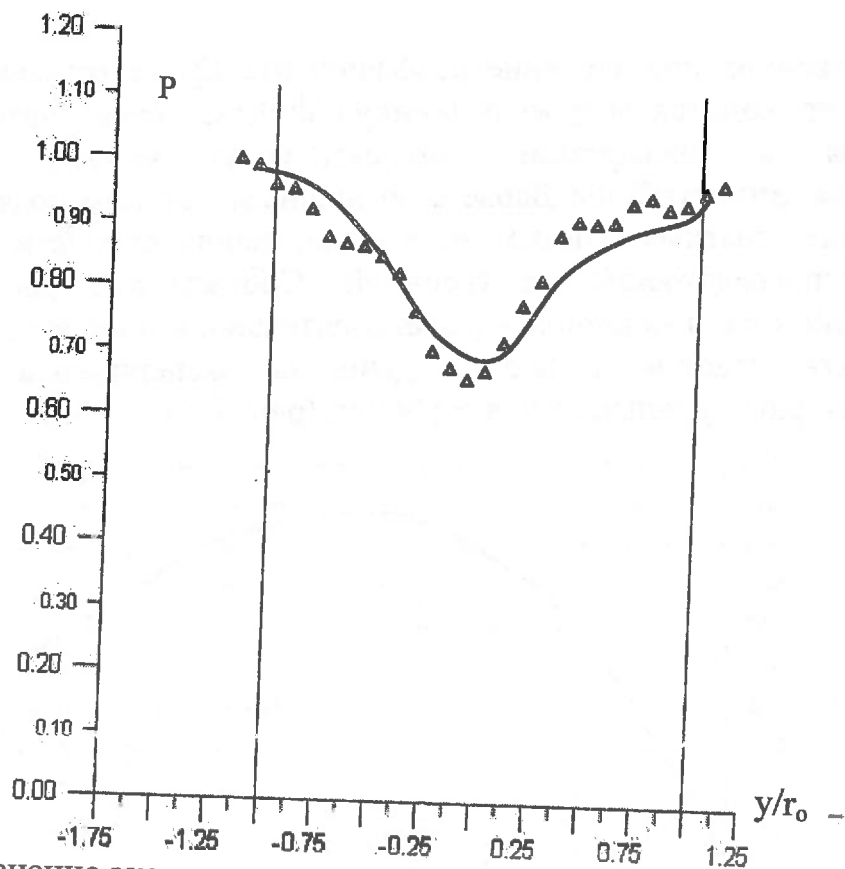
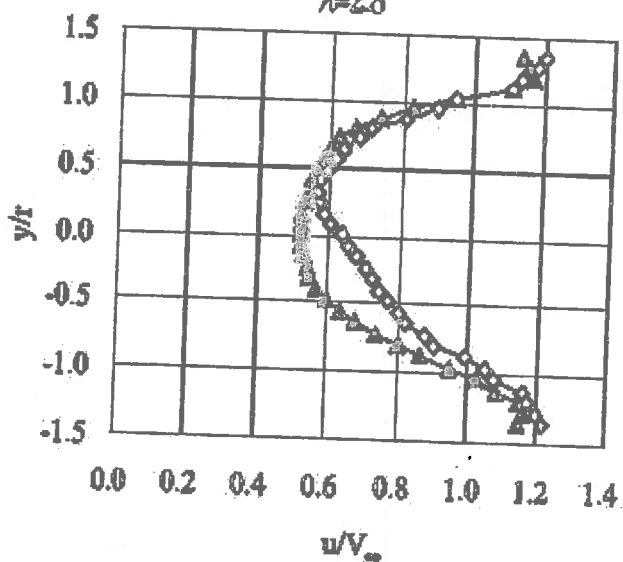


Рис. 5. Сравнение экспериментальных данных распределения статического давления за турбиной с результатом теоретического расчета

Сравнение профиля скорости
теоретических расчетов с
экспериментальными данными
зарубежных ученых при $x/r=1.6$ [6,7]

$\lambda=2.8$



Результаты теоретического расчета,
полученные А.Тулепбергеновым

$\lambda=2.8$ ($Z=2.8$)

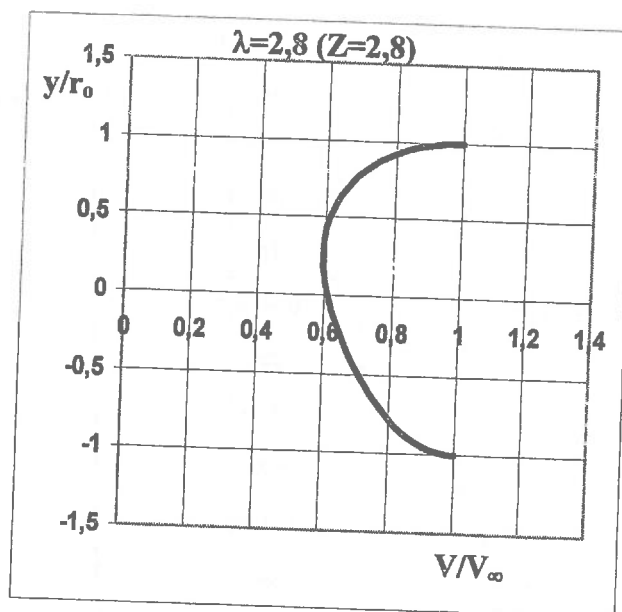
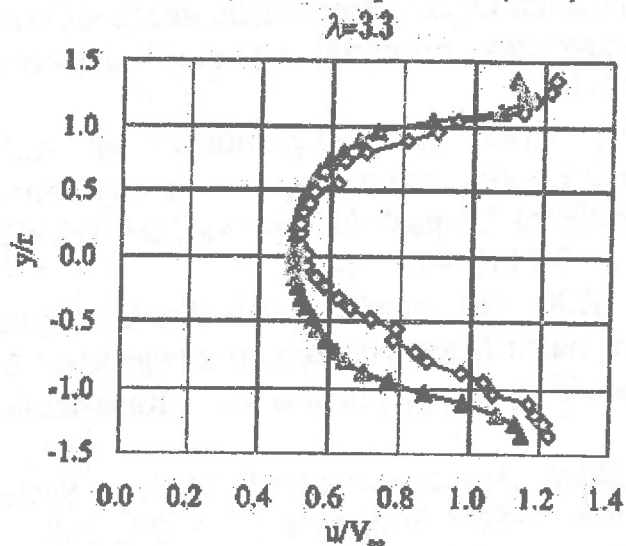


Рис. 6. Результат сравнения соотношения скорости ветра между вычислительными результатами и экспериментальными результатами в позиции $x/r = 1,6$

Сравнение профиля скорости
теоретических расчетов с
экспериментальными данными
зарубежных ученых при $x/r=1,6/6,7/$



Результаты теоретического расчета,
полученные А.Тулепбергеновым

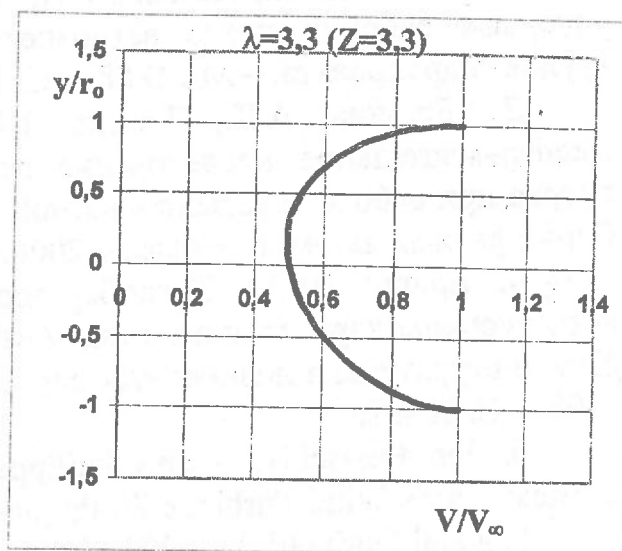


Рис. 7. Результат сравнения соотношения скорости ветра между вычислительными результатами и экспериментальными результатами в позиции $x/r = 1,6/6,7/$

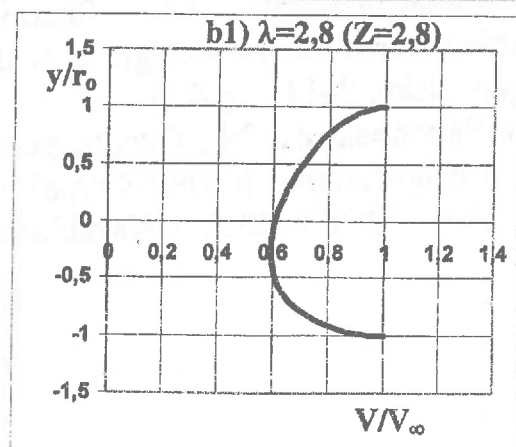
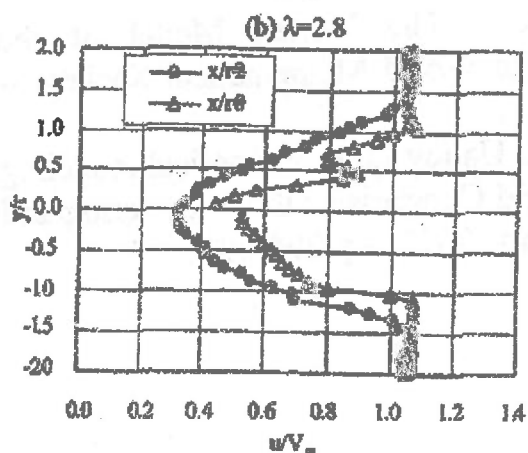
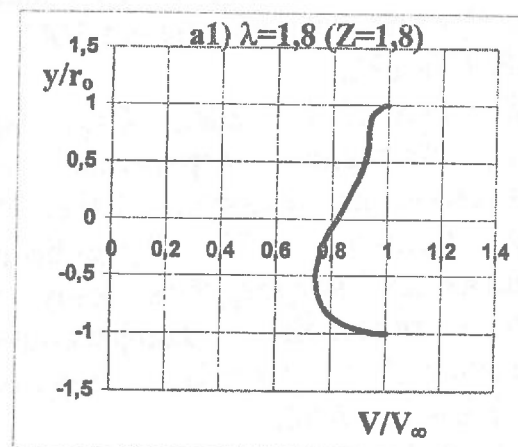
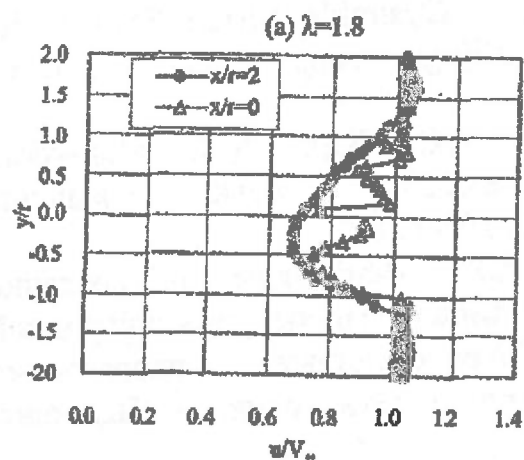


Рис. 8. Сравнения профилей скорости теоретических результатов А.Тулепбергенова с зарубежными экспериментальными результатами /6, 7/

Список литературы

1. Ершина А.К., Ершин Ш.А., Жапбасбаев У.К. Основы теории ветротурбины Дарье. – Алматы, 2001. – 104 с.
2. Иванов И. И., Иванова Г.А., Перфилов О. Л. Модельные исследования роторных рабочих колес ветроэнергетических станций. Сборник научных трудов гидропроекта. – М., 1988. – С. 106-113
3. Ершина А.К., Ершин Ш.А., Гуль В.И., Тулепбергенов А.К. Экспериментальное исследование поле течения стационарного воздушного потока при работе четырехлопастной турбины "Дарье" //Известия МН-АН РК: Серия физико-математическая. – 2000. – № 3(211). – С. 72-78.
4. Ершин Ш.А., Тулепбергенов А.К. Об одной нелинейной задаче ветротурбины карусельного типа" //Материалы Международной конференций: Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент. – Караганда, 1997. – С. 86-92.
5. Jon Paraschivoiu and Philippe Desy. Aerodynamics of Small – Scale Vertical – Axis Wind Turbines //J. Propulsion. – 1986. – Vol. 2, № 3. – P. 282-288.
6. Kenji Horiuchi, Izumi Ushiyama, Kazuichi Seki. Straight wing vertical axis wind turbines: A flow analysis //Wind engineering. – 2007. – Vol 29, №3. – P. 243-252.
7. Islam, M., Ting, D. S-K. and Fartaj, A. Desirable Airfoil Features for Smaller-Capacity Straight-Bladed VAWT //Wind Engineering. – 2007. – Vol. 31, №3. – P. 165-196.
8. Турян К. Дж., Стрикленд Дж., Х., Бэрг Д.Э. Мощность ветроэлектрических агрегатов с вертикальной осью вращения //Аэрокосмическая техника. – 1988. – № 8. – С. 105-121.
9. Ершина А.К., Тулепбергенов А.К. Разработка и создание перспективных ветротрубин карусельного типа //Труды международной научно-практической конференции: Перспективные направления альтернативной энергетики и энергосберегающие технологии. – Шымкент, 2010. – Т. I. – С. 57-62.
10. Tulepbergenov A.K., Sherniazov K.E. The Vortex Model of the Windturbine Darrie // IV Congress of the Turkic World Mathematical Society. – Azerbaijan, Baku, 2011. – p.475.
11. Satymbekov A.M., Tulepbergenov A.K., Ualiev Zh.R. Numerical modeling of modern wind turbines (carousel type) // V World Congress of the engineering and Technologies – WCET-2012. – Kazakhstan, Almaty, 2012. – p.294-296.

СКАЛЯРНЫЕ ПОЛЯ В КОСМОЛОГИЧЕСКИХ И АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Космология и астрофизика, науки о строении и эволюции Вселенной, находятся сейчас на необычайно интересном этапе своего развития. Это связано в значительной мере с открытиями последних десятилетий, заставляющих существенно менять наше представление об устройстве Вселенной. Эти открытия стали возможными благодаря быстрому развитию наблюдательной техники и средств обработки получаемой из космоса информации. Но сами по себе наблюдательные данные – это лишь полдела. Следующим шагом является осмысление этих данных с целью понять, что же за ними кроется. Ярким примером тому является открытое в конце XX века в астрономических наблюдениях ускоренное расширение современной Вселенной. Тот факт, что Вселенная расширяется, был известен еще с 20-х годов прошлого века. Однако до XX века считалось, что это расширение идет с замедлением, конца за счет торможения силами гравитации. Открытие же ускоренного расширения кардинально поменяло наше понимание современной эволюции Вселенной. Что же стоит за таким ускоренным расширением? Каковы его причины? Одним из ответов на эти вопросы является возможность наличия в современной Вселенной скалярных полей.

Что же такое скалярное поле? Оно пришло в космологию из теории элементарных частиц, где, начиная с 30-х годов прошлого века, оно широко используется при описании элементарных частиц и их взаимодействий. Для понимания сущности скалярного поля удобно провести следующую аналогию с классической механикой: Как и в механике, где для описания физической системы вводятся понятия кинетической и потенциальной энергии системы, для скалярного поля также можно ввести эти понятия. Тогда, например, для описания системы со скалярным полем, как и в обычной механике, достаточно будет лишь задать форму кинетической и потенциальной энергии. Как мы увидим в дальнейшем, различный выбор указанных энергий позволяет описывать совершенно различные физические системы с масштабами в диапазоне от микроскопических до размеров всей видимой Вселенной.

Пожалуй, одним из первых успешных применений скалярного поля в космологии явилось его использование в качестве основного механизма, обеспечивающего инфляционное расширение ранней Вселенной. На этом этапе своего развития Вселенная расширялась экспоненциально быстро, сумев за ничтожные доли секунды увеличить свои размеры с планковских, т.е. порядка 10^{-33} см, до макроскопических. Такое сверхбыстрое расширение стало возможным благодаря присутствию в ранней Вселенной особого типа скалярных полей, у которых энергия была сосредоточена в потенциальной части. На языке гидродинамики это соответствует наличию большого отрицательного давления, которое и обеспечивало «расталкивание» частиц в ранней Вселенной и их ускорение до огромных скоростей. После завершения

стадии инфляции энергия скалярных полей становится сосредоточенной в кинетической части. При этом поле начинает совершать быстрые колебания с потерей своей энергии на рождение различных типов элементарных частиц. Эта стадия эволюции ранней Вселенной, называемая скаляронной, обеспечила присутствие вещества в ранней Вселенной. Из этого вещества впоследствии образовались звезды и галактики, а через несколько миллиардов лет – и наше Солнце со своей планетной системой, включая Землю. Т.е. можно сказать, что скалярные поля и есть тот первоисточник, который обеспечил как наличие планет и звезд, так и само существование нашей Вселенной в теперешнем ее виде!

Возникает вопрос: а что было до эпохи инфляции? Определенного ответа на этот фундаментальный вопрос, к сожалению, нет до сих пор. Однако, как показывают проводимые исследования, скалярные поля и здесь могут прийти на помощь. Дело в том, что, будучи фундаментальными по своей природе, скалярные поля могут описывать как макроскопические, так и микроскопические (квантовые) системы [1]. Способность скалярных полей быть проквантованными как раз и используется при моделировании самых ранних этапов эволюции Вселенной. Этим занимается наука квантовая космология. В ней, как и в обычной квантовой механике, вводится в рассмотрение волновая функция, которая только теперь применима не к отдельной частице, а ко всей Вселенной в целом. Квадрат этой волновой функции описывает вероятность прохождения тех или иных процессов во Вселенной. В частности, такая волновая функция дает вероятность самого рождения Вселенной. Используя различные скалярные поля, удастся выяснить, какие из них являются наиболее предпочтительными в смысле обеспечения большей вероятности рождения Вселенной с заданными свойствами. Другой важный вопрос, решаемый при этом, состоит в том, что разные скалярные поля дают различные начальные условия для инфляции. А это уже непосредственно влияет на всю последующую эволюцию Вселенной, и, в принципе, может быть проверено наблюдательно.

Возвращаясь к современной ускоренно расширяющейся Вселенной, отметим, что и здесь скалярные поля могут играть важную роль. Дело в том, что, как и на инфляционной стадии, рассмотренной нами выше и описывающей эволюцию ранней Вселенной, в современную эпоху Вселенная, по сути, также проходит чрез стадию инфляции. Поэтому вполне естественно предположить, что и в современной Вселенной имеются те или иные скалярные поля. При этом они могут быть распределены либо однородно по всей Вселенной, либо образовывать кластеры, т.е. относительно компактные гравитационно связанные объекты. В случае однородного распределения скалярные поля отвечают за ускоренное расширение Вселенной и являются одной из форм проявления так называемой темной энергии. Последняя представляет собой новую форму материи, однородно заполняющую Вселенную. В настоящее время ее природа не ясна. Но скалярные поля – один из основных кандидатов на роль темной энергии. Что касается кластеризованных скалярных полей, то они могут быть ответственными за наличие во Вселенной еще одной

загадочной субстанции — темной материи. Последняя настолько слабо взаимодействует с электромагнитным излучением, что является практически невидимой, а ее присутствие выявляется лишь по гравитационному взаимодействию с обычным веществом. И здесь скалярные поля, обладая нужными свойствами, позволяют с успехом использовать их при описании темной материи.

Переходя к более мелким пространственным масштабам, рассмотрим теперь, какую роль играют скалярные поля на уровне конфигураций с размерами звезд. Как показывают исследования, проведенные в последние 50-60 лет, и здесь скалярные поля могут играть существенную роль. В простейшем варианте можно представить себе конфигурацию, состоящую из скалярного поля, удерживаемого собственным гравитационным полем, — скалярную звезду. Давление внутри такой звезды, противодействующее гравитационному полю и не дающее ей сжиматься, возникает за счет квантового принципа неопределенности Гейзенберга /2/. В этом смысле такая скалярная звезда есть некий квантово-классический объект, существование которого обеспечивается одновременно и квантовыми, и классическими свойствами скалярного поля. Как показали исследования, массы таких объектов могут меняться от атомных («гравитационный атом») до масс порядка солнечной. Не исключено, что таких объектов во Вселенной может быть достаточно много. Тогда в случае, если их электромагнитное излучение слабо, они вполне могут служить кандидатами на роль недостающей темной материи.

Другой интересной особенностью скалярных полей является тот факт, что их кинетическая энергия может быть отрицательной. Это свойство кардинально отличает скалярные поля от обычной материи и приводит к тому, например, что плотность энергии таких скалярных полей может быть отрицательной. Такие поля называются фантомными, или духовыми /3/. Если они действительно существуют в природе, то они могут образовывать очень интересные объекты, называемые кротовыми норами. Последние представляют собой туннели в пространстве-времени, соединяющие либо удаленные части нашей Вселенной, либо даже разные вселенные. При этом, поскольку они могут быть макроскопическими, то через них может проходить обычное вещество и даже люди. Такие туннели являются существенно более короткими, чем тем расстояния, которые соединяют удаленные точки во внешнем по отношению к кротовым норам пространстве. Соответственно время, требуемое на перемещение из одной точки пространства в другую, по туннелю намного меньше, чем вне его. Т.е. такая кротовая нора есть, по сути, машина для перемещения во Вселенной на большие расстояния. И все это благодаря отмеченным выше удивительным свойствам духового скалярного поля.

Продолжая развивать эту идею, можно предположить, что кротовые норы могут быть заполнены обычным веществом, например таким, из которого состоят звезды. Тогда с точки зрения удаленного наблюдателя будет видна интересная картина: поскольку у кротовой норы есть два входа, то наблюдатель будет видеть две звезды, разнесенные в пространстве, но одинаковые по характеристикам. Кроме того, поскольку вещество может двигаться по

туннелю, то это будет проявляться в периодическом и синхронном изменении яркости звезд. Этот факт можно установить наблюдательным путем, и если такие звезды-близнецы будут найдены во Вселенной, то это можно будет рассматривать как указание в пользу действительного существования во Вселенной духовых скалярных полей.

До сих пор мы рассматривали скалярные поля, которые могут взаимодействовать с обычным веществом лишь гравитационно. Однако возможна ситуация, когда имеется прямое взаимодействие «скалярное поле – вещество». Примером таких полей являются хамелеоновые скалярные поля, которые непосредственно связаны с веществом. В этом случае они обретают новые интересные свойства. Например, масса их квантов становится зависимой от свойств того вещества, с которым они взаимодействуют. Это, в свою очередь, приводит к существенному изменению физических характеристик тех объектов, в которые входит хамелеоновое скалярное поле. Так, например, если такое поле образует вместе с обычным веществом звезду, то физические параметры такой звезды (масса, распределение плотности вещества, центральная плотность и температура и т.д.) могут быть совершенно иными, чем без скалярного поля. И если такие поля действительно существуют во Вселенной, то их влиянием никак нельзя пренебречь при построении моделей реальных звезд /4/.

Заканчивая этот краткий и далеко неполный обзор возможных применений скалярных полей в космологии и астрофизике, мы видим, что они играют существенную и разнообразную роль при описании различных космологических и астрофизических явлений. Они с успехом применяются при моделировании процессов как на космологических масштабах, сравнимых с размерами видимой Вселенной, так и на относительно небольших астрофизических масштабах, когда с их помощью описываются объекты с размерами порядка звездных. Временной интервал, на котором «работают» скалярные поля различной природы, также велик: от момента рождения нашей Вселенной около 14 млрд лет назад до наших дней. Все это делает скалярные поля универсальным инструментом, который, наряду с другими фундаментальными полями, позволяет создавать целостную и согласованную картину эволюции и строения ранней и современной Вселенной.

Список литературы

1. Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. – М.: Наука, 1990. – 237 с.
2. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 200 с.
3. F. E. Schunck, E. W. Mielke, General relativistic boson stars, Class. Quant. Grav. 20, R301-R356 (2003). [arXiv:0801.0307 [astro-ph]].
4. E. J. Copeland, M. Sami, S. Tsujikawa, Dynamics of dark energy, Int. J. Mod. Phys. D15, 1753-1936 (2006). [hep-th/0603057].

**АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ
НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА
И НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОГРАНИЧНЫХ СЛОЯХ,
ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ДО-, ТРАНС- И СВЕРХЗВУКОВЫМИ
ПОТОКАМИ**

Экспериментальные данные могут быть по-разному интерпретированы разными исследователями, а теоретический анализ одной и той же проблемы может приводить к противоположным выводам (яркий пример – выводы об устойчивости плоского течения Пуазейля, сделанные Гейзенбергом и более поздними исследователями на основании теоретического изучения, оказались противоположны). Теоретический анализ дает понимание механизмов наблюдаемого явления. Случается, что разные модели, не имея существенных предпочтений друг перед другом, могут указывать на различные физически правдоподобные их варианты. В этом случае критерием отбора могут выступать данные экспериментов. Уяснение соответствующей природе явления теоретической модели позволяет «провести единственную кривую истинной зависимости по звездному небу данных многочисленных экспериментов» (В.Я. Нейланд).

Вышедший в 1988 г. в свет обзор В.В. Козлова и О.С. Рыжова /1/ ставил своей задачей максимально полно, где это только возможно, провести сравнение относящихся к исследованию пограничного слоя результатов базирующейся на асимптотических методах аналитической теории, развитой в Вычислительном центре АН СССР (г. Москва) коллективом О.С. Рыжова, и данных экспериментов в аэродинамической трубе Института теоретической и прикладной механики (ИТПМ) СО АН СССР (г. Новосибирск, Академгородок), проведенных под руководством В.В.Козлова. Приведенные в обзоре результаты относились к дозвуковому пограничному слою.

Результаты исследования возмущений и перехода ламинарного течения в турбулентное при сверхзвуковых и гиперзвуковых скоростях потока, выполненные, в основном, в рамках линейной теории устойчивости сжимаемых течений, а также анализ и сопоставление теоретических и экспериментальных результатов даны в /2/. Приведены результаты экспериментов по изучению влияния на пограничный слой падающих внешних возмущений (например, акустических волн), затупления передней кромки, шероховатости поверхности и ее охлаждения. Часто эти факторы оказывают одновременное влияние, причем их учет как независимых не обоснован. Констатировано, что общие положения теории получили экспериментальное подтверждение. Отмечены качественно новые, не наблюдаемые при дозвуковых скоростях эффекты – появление высокочастотных неустойчивых возмущений для числа Маха $M > 3$, выделение вместо одной трех областей неустойчивости (разделенных узкими «коридорами» устойчивости), возбуждение внешним звуковым излучением собственных колебаний в пограничном слое при сверхзвуковых скоростях невязкого течения в отсутствие неоднородностей течения,

несправедливость теоремы Сквайра о том, что трехмерные возмущения более устойчивы, чем двумерные.

Предложенная в 1904 г. Л. Прандтлем концепция пограничного слоя позволила решить многие важные задачи течений жидкости и газа. В процессе исследования пограничных слоев выявился целый круг не описываемых классической теорией Прандтля задач — с областями больших продольных градиентов параметров течения, в первую очередь, окрестностей точек отрыва пограничного слоя, что потребовало создания новых моделей пограничного слоя. Для этих задач структура модели течения оказалась более сложной, чем предложенное Прандтлем выделение всего лишь двух (вязкой и невязкой) областей, кроме того, выяснилось, что градиент давления в таком пограничном слое должен определяться не из условий в невязкой области (внешних условий), а из решения задачи в целом — таким образом, пограничный слой сам оказывает влияние на определяющее его невязкое течение (самоиндуцированный пограничный слой или, точнее, пограничный слой с самоиндуцированным давлением). Такие пограничные слои получили также название неклассических.

Исследование сверхзвуковых пограничных слоев исторически следовало за исследованием дозвуковых слоев, поскольку такой ход событий определялся возможностями и потребностями авиации, однако модель самоиндуцированного пограничного слоя (трехпалубная модель¹) была сформулирована впервые для сверхзвукового пограничного слоя (В.Я. Нейланд, 1968 г. /3/).

В трехпалубной модели поле течения поделено на три части («палубы») — внешнее невязкое потенциальное течение, переходное невязкое вихревое течение и собственно пограничный слой. Решения описывающих течение уравнений, выведенных отдельно для каждой палубы при помощи метода асимптотических разложений в пределе бесконечно больших чисел Рейнольдса, сращиваются с использованием условий на границах палуб.

Обстоятельный обзор результатов теоретического изучения на трехпалубной модели и экспериментальных исследований задач свободного вязко-невязкого взаимодействия на сверхзвуковых скоростях проведен в монографии /4/.

К настоящему времени работами А.Н. Богданова, В.Н. Диесперова, В.И. Жука, Г.Л. Королева, И.Г. Проценко, О.С. Рыжова, И.В. Савенкова, А.В. Чернышева и др. развита теория самоиндуцированных пограничных слоев при трансзвуковом режиме обтекания. Естественно указать место новых результатов в общей картине явлений и процессов, связанных с пограничными слоями, определить новые проблемы и пути их возможного решения. Ранее обзор работ по исследованию трансзвуковых пограничных слоев предпринят в монографии /5/.

Трансзвуковой режим течения газа имеет значительные отличия по сравнению и с дозвуковым, и со сверхзвуковым режимами: наличие особенностей сверхзвукового течения (в первую очередь — ударных волн, угла Маха и др.) сочетается с возможностью¹ проникновения (влияния) слабых возмущений вверх по потоку, как в дозвуковых течениях.

¹ В.Я. Нейланд считает предпочтительным употребление термина «свободное взаимодействие».

Есть мнение, что течение в трансзвуковом диапазоне скоростей существенно нелинейное и проводить линеаризацию нельзя. Попытки упростить анализ уравнений трансзвукового течения связаны с использованием так называемого трансзвукового разложения. Для этого искомые функции раскладываются в ряды по малому параметру, которым является отклонение текущего значения числа Маха потока от единицы. В случае нестационарного трансзвукового течения такое упрощение уравнений движения было проведено В. Линем, Э. Рейсснером и С. Цянем /6/, позволившее свести исходную систему к единственному уравнению — уравнению Линя-Рейсснера-Цяня (ЛРЦ).

Асимптотические методы анализа вязких течений газа, связанные, в первую очередь, с разложением параметров течения по степеням обратного числа Рейнольдса, дали новое множество решений (их богатство соизмеримо с преодоленными трудностями их получения). Выявились случаи того, как различные предельные переходы приводят к различным результатам (явление Стокса) и неожиданному поведению решений, разный характер решений в разных областях и их тонкая пространственная структура, существенная роль вязкости даже в случаях, когда она очень мала.

Основные достижения при аналитическом исследовании самоиндуцированных трансзвуковых пограничных слоев получены в рамках трехпалубной модели, распространенной на трансзвуковой режим О.С. Рыжовым /7/. Первоначально модель показывала нелинейность течения в верхней палубе. Дальнейший анализ показал /8/, что при выводе составляющих трехпалубную модель уравнений есть возможность выбирать между сохранением нелинейности уравнений в верхней палубе и учетом нестационарности течения в нижней палубе. Последний вариант был использован при определении устойчивости пограничного слоя к малым возмущениям, являющимся линейной задачей. Оценка существенности линейных и нелинейных эффектов в областях свободного вязко-невязкого взаимодействия на трансзвуковых скоростях при различных значениях малых параметров задачи выполнена в работе /9/. Были указаны границы применимости линейного анализа.

Исследование устойчивости /8/ обнаружило рост слабых возмущений (не слишком больших длин волн) трансзвукового пограничного слоя при линейном профиле скорости невозмущенного течения и вне зависимости от того, превышает скорость такого течения скорость звука или нет. Для чисто сверхзвукового режима при линейном профиле растущих возмущений не обнаружено /10/, на дозвуковом же режиме модель показывает /10/ одно растущее возмущение), хотя устойчивость дозвукового пограничного слоя при линейном профиле скорости (называемого также течением Куэтта) считается доказанной (см., например /11/). Доказательство устойчивости /10/ сверхзвукового пограничного слоя на плоской пластине по отношению к продольным возмущениям (косые моды могут быть неустойчивыми в зависимости от угла наклона) при анализе на трехпалубной модели воспринималось как парадокс /12/. Дополнительный анализ /12/ показал, что в отличие от дозвукового и звукового случаев, когда изменения величины трансзвукового параметра подобия (характеризующего отклонение текущего

значения числа Маха от единицы) вызывает незначительные изменения в форме и положении дисперсионных кривых, для сверхзвукового пограничного слоя обнаруживаются новые возможности. Именно, при увеличении значения трансзвукового параметра подобия до величины 1,560 выявлено возникновение петлеобразной ветви дисперсионной кривой, лежащей в области растущих возмущений. При дальнейшем росте трансзвукового параметра подобия петля, соответственно, увеличивается и при достижении параметром критической величины, чуть большей 1,858, пересекается с другой дисперсионной кривой – в поле дисперсионных кривых возникает тока ветвления. В ходе расчетов /13/ критическое значение трансзвукового параметра подобия было уточнено: 1,85869.

Вывод дисперсионного соотношения (ДС) для трансзвукового режима и его исследование выполнено также в работе /14/, где был вычислен нейтральный корень и показано, что он единственный, проведенное сравнение со сверхзвуковым пределом обнаружило резкое увеличение длины нейтральной волны при переходе к сверхзвуковому режиму (на восемь порядков по сравнению с дозвуковым режимом).

В отличие от дозвукового случая акустическое воздействие на свободно взаимодействующий в трансзвуковом режиме пограничный слой порождает /15/ волны Толлмина-Шлихтинга и при гладких граничных условиях (нет выступов, изломов, уступов и т.п. на ограничивающих течение поверхностях), в дозвуковом режиме для генерации возмущений наличие таких особенностей необходимо /16/, в этом отношении трансзвуковое течение выступает как локально неоднородное течение.

Исследование малых возмущений при учете вязкости среды обнаружило (по-видимому, первым здесь был В. Толлмин /17/) существование других, отличных от пограничных пристеночных, слоев существенного проявления вязких эффектов – «критических» слоев. В этой связи трехпалубная структура оказалась простейшим частным случаем существенно более сложной многопалубной структуры (например, четырех- и пятипалубной /5/) в том случае, когда критический и пристеночный пограничный слой совпадают.

Трехпалубная модель по-прежнему остается весьма эффективным инструментом для исследования задач теории пограничного слоя, в частности в трансзвуковом диапазоне скоростей /18-21/. Вместе с тем, к настоящему времени понята недостатки этой модели для трансзвукового диапазона и предложена ее модификация /22/. Именно, при исследовании нестационарного трансзвукового взаимодействия для моделирования течения в области невязкого течения (верхней «палубе») традиционно использовалось уравнение Линя-Рейсснера-Цян (LRC) /6/. Это уравнение, обладающее несомненными достоинствами (описывает и сверхзвуковую, и дозвуковую область трансзвукового течения, его неоднородный, нестационарный и нелинейный характер), однако, имеет недостатки /23/, не позволяющие правильно описать распространение в потоке именно нестационарных возмущений: это уравнение является вырожденным гиперболическим уравнением и описывает распространение нестационарных возмущений в поле течения лишь отчасти (только вверх по течению). В этой связи

для исследования задач теории пограничного слоя с взаимодействием на трансзвуковых скоростях была предложена /22/ модифицированная модель. Модификация модели заключается в сохранении (т.о. возникающего естественным образом) в уравнении ЛРЦ при его выводе из полных уравнений для потенциала сингулярного члена трансзвукового разложения со второй производной по времени. Полученное таким способом уравнение удобно называть модифицированным уравнением ЛРЦ, это уравнение является невырожденным гиперболическим и описывает распространение возмущений в поле течения во всех направлениях. Модифицированная модель дает дополнительное возмущение, выпадающее из рассмотрения при использовании классической модели, и позволяет определить его поведение.

По ДС, полученным по классической и модифицированной моделям, была проведена /13/ серия численных расчетов дисперсионных кривых, определяемых указанными ДС при различных значениях трансзвукового и других определяющих параметров. Расчеты подтвердили асимптотику дисперсионной кривой модифицированного ДС, отвечающей растущим возмущениям.

Устойчивость трансзвуковых пограничных слоев на трехпалубной модели теоретически исследовалась при линейном профиле скорости невозмущенного пограничного слоя /8/. Представляет интерес выяснение поведения возмущений в случае другого, отличного от линейного, вида профиля скорости. Выбор квадратичного вида позволяет провести аналитическое исследование в достаточно законченном виде. Конечно, и эти результаты сильно ограничены, но они освещают некоторые существенные особенности развития возмущений исследуемых пограничных слоев и позволяют избежать абсолютизации полученных для линейного профиля результатов. Укажем, в частности, что определяющий поведение возмущений в линейном случае присущий производной функции Эйри колебательный характер изменения относительно действительной оси при отрицательных значениях аргумента является, все же, исключительным и не реализуется в других условиях. Так, в случае квадратичного профиля скорости поведение возмущений определяется функцией Уиттекера, имеющей качественно другие свойства, нежели функция Эйри. Это свидетельствует о качественной перестройке поля возмущений при отклонении профиля невозмущенной скорости пограничного слоя от линейного вида.

Дисперсионное соотношение для трансзвукового режима взаимодействия переходит в дисперсионное соотношение для сверхзвукового режима или дозвукового режима при соответствующем выборе определяющих невозмущенное течение параметров, что открывает возможность для сравнения трансзвукового режима с этими режимами, для которых накоплен большой экспериментальный материал.

Экспериментальный материал по исследованию устойчивости собственно трансзвуковых пограничных слоев довольно скуп. Здесь следует отметить цикл экспериментов /24/ по исследованию колебаний пластины при ее трансзвуковом обтекании, выполненных в Институте механики МГУ имени М.В. Ломоносова, в связи с изучением одномодового панельного флаттера у летательных аппаратов.

Эксперименты показали сильный рост колебаний пластины при числах Маха, превышающих 1,2. Связанные с этими экспериментами теоретические исследования /25/ влияния пограничного слоя, образующегося на поверхности пластины, на колебания пластины (безграничной или конечной величины) показали стабилизацию (или дестабилизацию) колебаний пластины пограничным слоем в зависимости от профиля скорости в слое и его толщины. В случае обобщенно-выпуклых профилей скорости, характерных для ускоряющегося течения, колебания пластины при сверхзвуковом обтекании стабилизируются, а при дозвуковом – наоборот. В случае профилей с обобщенной точкой перегиба, лежащей в дозвуковой части пограничного слоя (характерных для однородных или замедляющихся течений), колебания при сверхзвуковом обтекании растут для достаточно тонких пограничных слоев и стабилизируются для слоев при превышении толщиной пограничного слоя некоторой величины. При дозвуковом обтекании колебания затухают. Если профиль пограничного слоя такой, что обобщенная точка перегиба лежит в сверхзвуковой части пограничного слоя, такой слой может быть устойчив, давая при этом сколь угодно сильный рост колебаний пластины.

Список литературы

1. Козлов В.В., Рыжов О.С. Восприимчивость пограничного слоя: асимптотическая теория и эксперимент. – М.: ВЦ АН СССР, 1988. – 56 с.
2. Гапонов С.А., Маслов А.А. Развитие возмущений в сжимаемых потоках. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1980. – 144 с.
3. Нейланд В.Я. Сверхзвуковое течение вязкого газа вблизи точки отрыва// III Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. 25.01 – 01.02.1968 г. Сб. аннотаций докладов. – М.: Наука. 1968. – С. 224
4. Нейланд В.Я., Боголепов В.В., Дудин Г.Н., Липатов И.И. Асимптотическая теория сверхзвуковых течений вязкого газа. – М.: Физматлит, 2003. – 456 с.
5. Жук В.И. Волны Толлмина–Шлихтинга и солитоны. – М.: Наука, 2001. – 167 с.
6. Lin C.C., Reissner E., Tsien H.S. On two-dimensional non-steady motion of a slender body in a compressible fluid// J. of Mathematics and Physics. 1948. V.27. № 3. P. 220-231. (Имеется перевод: Х.Ш. Тзян, Ц.Ц. Лин, Е. Рейснер. О двумерном неустановившемся движении тонкого тела в сжимаемой жидкости/ Газовая динамика (Сб. статей). Под ред. С.Г. Попова и С.В. Фальковича. – М.: Изд-во иностр. лит., 1950. – С. 183-196).
7. Рыжов О.С. О нестационарном пограничном слое с самоиндуцированным давлением при околосзвуковых скоростях внешнего потока// Докл. АН СССР. – 1977. – Т. 236. – № 5. – С. 1091-1094.
8. Рыжов О.С., Савенков И.В. Об устойчивости пограничного слоя при трансзвуковых скоростях внешнего потока// ПМТФ. – 1990. – № 2. – С. 65-71.
9. Диесперов В.Н., Липатов И.И. Модели процессов взаимодействия течения

в ламинарном пограничном слое с трансзвуковым потоком // Изв. РАН. МЖГ. – 2003. – № 5. – С. 60-73.

10. Терентьев Е.Д. Нестационарные задачи пограничного слоя со свободным взаимодействием. Дисс. на соискание уч. степ. докт. физ.-мат. наук. – М.: ВЦ РАН, 1986. – 202 с.

11. Бетчов Р., Криминале В. Вопросы гидродинамической устойчивости. – М.: Мир, 1971. – 352 с.

12. Ryzhov O.S, Bogdanova E.V. Boundary-layer instability in transonic range of velocities, with emphasis on upstream advancing wave packets// IUTAM Symposium on One Hundred Years of Boundary Layer Research Solid Mechanics and Its Applications, 2006, v. 129, Session 2, p. 135-144.

13. Чернышев А.В. Исследование свойств дисперсионных соотношений в асимптотической модели неклассического пограничного слоя. Дисс. на соискание уч. степ. канд. физ.-мат. наук. – М.: ВЦ РАН, 2010. – 127 с.

14. Тимошин С.Н. Асимптотическая форма нижней ветви нейтральной кривой в трансзвуковом пограничном слое// Ученые записки ЦАГИ. – 1990. – Т. XXI. – № 6. – С. 50-57.

15. Савенков И.В. О преобразовании акустических возмущений в волны Толлмина-Шлихтинга в пограничном слое при трансзвуковых скоростях внешнего потока// ЖВМиМФ. – 2004. – Т. 44. – № 8. – С. 1429-1434.

16. Рубан А.И. О генерации волн Толлмина-Шлихтинга звуком// Изв. АН СССР. – МЖГ. – 1984. – № 5. – С. 44-52.

17. Tollmien W. Über die Entstehung der Turbulenz. 1. Mitteilung, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math. Phys. Klasse 21-44 (1929); английский перевод в NASA TM 009 (1931).

18. Богданов А.Н., Диесперов В.Н., Жук В.И., Чернышев А.В. Феномен свободного взаимодействия в трансзвуковых течениях и устойчивость пограничного слоя// ЖВМиМФ. – 2010. – Т. 50. – № 12. – С. 2208-2222.

19. Богданов А.Н., Диесперов В.Н., Жук В.И., Королев Г.Л., Липатов И.И., Савенков И.В. Асимптотические модели вязких нестационарных трансзвуковых течений// VIII Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. (Пермь. 23-29 августа 2001). Аннотации докладов. – Екатеринбург: УрО РАН. 2001. – С. 106.

20. Богданов А.Н., Диесперов В.Н., Жук В.И., Королев Г.Л., Проценко И.Г., Савенков И.В. Развитие концепции свободного взаимодействия нестационарного пограничного слоя // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. (Н.Новгород, 22-28 августа 2006) Аннотации докладов. Т. II. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского. 2006. – С. 32.

21. Богданов А.Н., Диесперов В.Н., Жук В.И., Королев Г.Л., Чернышев А.В. Фундаментальность концепции свободного вязко-невязкого взаимодействия при исследовании нестационарного трансзвукового пограничного слоя// Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. – № 4, часть 5. – С. 2025-2027.

22. Богданов А.Н., Диесперов В.Н. Моделирование нестационарного

трансзвукового течения и устойчивость трансзвукового пограничного слоя// ПММ. – 2005. – Т. 69. – Вып. 3. – С. 394-403.

23.Богданов А.Н. Высшие приближения трансзвукового разложения в задачах нестационарных трансзвуковых течений// ПММ. – 1997. – Т. 61. – Вып. 5. – С. 798-811.

24.Веденеев В.В., Гувернюк С.В., Зубков А.Ф., Колотников М.Е. Экспериментальное исследование одномодового панельного флаттера в сверхзвуковом потоке газа//Изв. РАН. – МЖГ. – 2010. – № 2. – С. 161-175.

25.Веденеев В.В. Одномодовый флаттер пластины с учётом пограничного слоя// Изв. РАН. МЖГ. 2011. В печати.

УДК 621.548

А.М.Сатымбеков, А.К.Тулепбергенов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВРАЩЕНИЯ ВЕТРОТУРБИНЫ ДАРЬЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ ТРУБКИ ТОКА

Рассмотрим взаимодействия ветротурбины со стационарным воздушным потоком /1-3/. На рис. 1 схематически показано четыре наиболее важных положения рабочей лопасти при вращении с постоянной угловой скоростью ω .

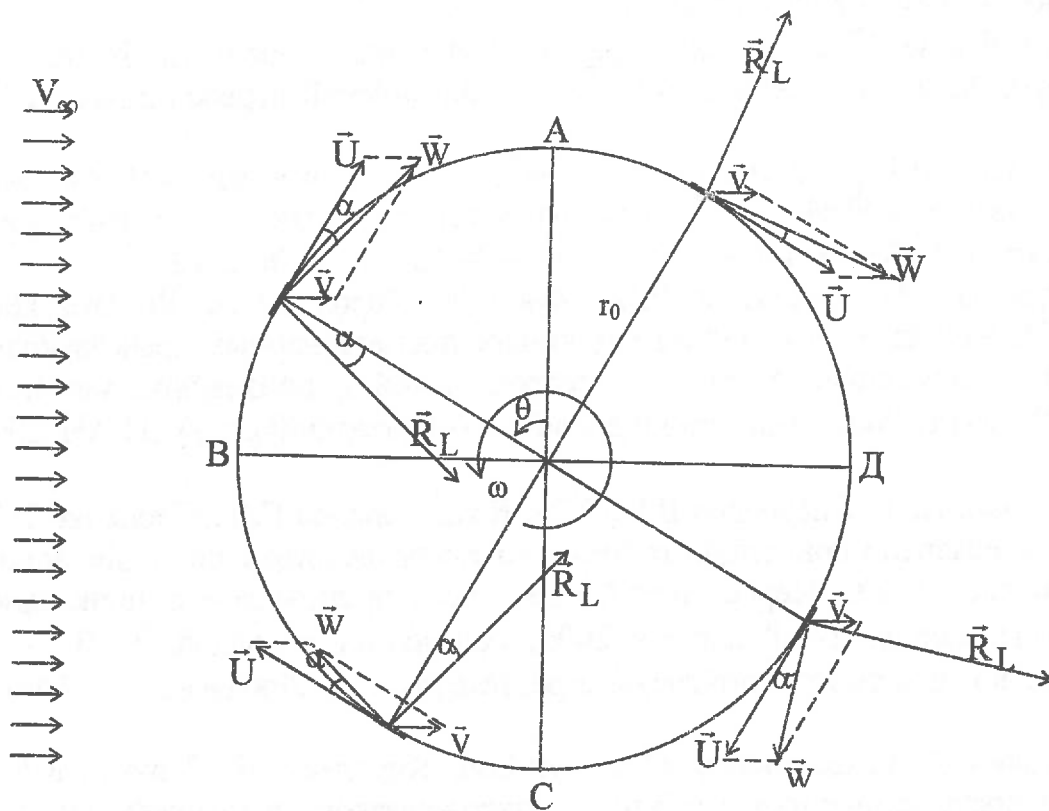


Рис. 1. Схема вращающейся против часовой стрелки одной из рабочих лопастей ветротурбины

Угол $\theta \in [0, 2\pi]$ отсчитывается от координаты x как от нулевого положения маха. Таким образом, угол θ определяет положение рабочей лопасти и действующие на нее силы вдоль окружности описываемой рабочими лопастями при вращении турбины.

Как видно из рис. 1, в точках А и С угол атаки (α) равен нулю ввиду параллельности вектора скорости ветра $\vec{V}$ и вектора линейной скорости вращения турбины $\vec{U}$. По мере продвижения рабочей лопасти от точки А до точки В возрастает угол атаки до максимального своего значения. Соответственно, изменяется величина и направления скорости атаки воздушной среды при движении в ней рабочей лопасти. Затем при перемещении лопасти от точки В к точке С угол атаки и скорость атаки убывают, и величина подъемной силы $\vec{R}_L$ равняется нулю в точке С. Аналогичная ситуация имеет место при продвижении рабочей лопасти по нижней части окружности с максимальными значениями угла и скорости атаки в точке Д.

Вектор скорости атаки запишется в виде суммы вектора индуктивной скорости ветра $\vec{V}$ и вектора линейной скорости движения рабочей лопасти $\vec{U}$ с обратным знаком

$$\vec{W} = V \sin \theta \vec{e}_1 + (\omega r_o + V \cos \theta) \vec{e}_e, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения турбины, r – длина маха Н-ротора, V – индуктивная скорость ветра. Ниже будет показано, как определяется ее величина.

Угол атаки выражается следующей формулой:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(\vec{W}, \vec{e}_1)}{(\vec{W}, \vec{e}_e)} = \frac{V \sin \theta}{V \cos \theta + r_o \omega} \quad \text{или} \quad \alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{V \sin \theta}{V \cos \theta + r_o \omega} \right). \quad (2)$$

Вводя параметр быстроходности $Z = \frac{r_o \omega}{V}$, получим

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta + Z} \right). \quad (3)$$

Характер поведения угла атаки различен при $Z > 1$.

а) подъемная сила профиля рабочей лопасти

$$\vec{R}_L = C_L(\alpha) \rho \frac{W^2}{2} h dz \vec{e}_L, \quad (4)$$

где $C_L(\alpha)$ – коэффициент подъемной силы, h – длина хорды профиля, dz – элемент лопасти по высоте, $\vec{e}_L$ – единичный вектор по направлению подъемной силы крыла,

б) сила сопротивления

$$\vec{R}_D = C_D(\alpha) \rho \frac{W^2}{2} h dz \vec{e}_w, \quad (5)$$

где коэффициент $C_D(\alpha)$ – известная функция от угла атаки, $\vec{e}_w$ – единичный вектор силы сопротивления.

Коэффициенты $C_D(\alpha)$, $C_L(\alpha)$ могут быть представлены формулами, связанными с углом атаки, и определяются экспериментально.

Запишем элементарный момент аэродинамических сил, действующий на элемент лопасти dz , при изменении $\theta \in [0, 2\pi]$ равен

$$dM = r_0 [(\vec{R}_D, \vec{e}_\theta) + (\vec{R}_L, \vec{e}_\theta)] = \rho \frac{W^2}{2} h dz r_0 [C_D \cos(\alpha) + C_L \sin(\alpha)], \quad (6)$$

где z — третья ось ортогональной декартовой системы координат. Рабочие лопасти Н-ротора расположены параллельно третьей оси z .

Значение W^2 получим, используя формулу (2)

$$W^2 = (\vec{W})^2 = V^2 \sin^2 \theta + (\omega r_0 + V \cos \theta)^2. \quad (7)$$

Осредненное значение силы $\vec{R}_x(\theta)$, действующий на элемент, равно

$$\vec{R}_x(\theta) = R'(\theta) dx. \quad (8)$$

Здесь $dx = r_0 \sin \theta d\theta$;

где определяется по формуле (9') или, более подробно,

$$R_x = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \vec{R}_x d\theta, \quad (9)$$

$$R_x = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \vec{R}_x d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \rho \frac{W^2}{2} \frac{h B(\theta)}{r_0 \sin(\theta)} d\theta = \frac{\rho h}{4\pi r_0} \int_0^{2\pi} \frac{W^2 B(\theta)}{\sin(\theta)} d\theta. \quad (10)$$

Здесь выражение (8) используется для R_x и $B(\theta) = C_L \sin(\theta - \alpha) - C_D \cos(\theta - \alpha)$.

Воспользовавшись определением коэффициента C_p из (2'), справедливым для $0 < \theta < \pi$, можно записать

$$C_p = \frac{R_x}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} = \frac{h}{2\pi r_0} \int_0^{2\pi} \left(\frac{W}{V}\right)^2 \frac{B(\theta)}{\sin(\theta)} d\theta. \quad (11)$$

Выберем в ветровом потоке трубку тока, взаимодействующую с движущейся по окружности АВСД (рис. 1) рабочей лопастью. Естественно, величина трубки тока в этом случае связана с положением лопасти в пространстве при круговом ее движении, или, иначе говоря, установим связь индуктивной скорости с параметром C_p

$$\frac{V}{V_\infty} = \frac{1}{1 + \frac{C_p}{4}}. \quad (12)$$

Учитывая формулу (11), после простых преобразований из (12) найдем выражение для индуктивной скорости через аэродинамические характеристики ветроагрегата:

$$\frac{V}{V_\infty} = \frac{1}{1 + \frac{h}{8\pi r_0} \int_0^{2\pi} \left(\frac{W}{V}\right)^2 \frac{B(\theta)}{\sin(\theta)} d\theta}. \quad (12')$$

Формула (12') в сочетании с (1) и (2) дает итерационный алгоритм для определения индуктивной скорости V в наветренной части ротора Дарье, в рассматриваемом случае, когда турбина в целом обхватывается одной трубкой, т.е. однотрубчатая модель.

Для проведения расчетов рассмотренным выше методом была разработана итерационная программа на языке Фортран и реализована на компьютере. При этом, как нам представляется, в процесс итерации лучше включить зависимости коэффициентов подъемной силы (C_L) и силы сопротивления (C_D) от непосредственного угла атаки, записанные в виде формул. Результаты обработки данных коэффициентов подъемной силы (C_L) и силы сопротивления (C_D) для крылового профиля NASA-0021 приведены на рис. 2. На рис. 2 сплошные линии построены по приближенным формулам, которые имеют вид

$$C_L = -0,00011 \cdot \alpha^3 + 0,0023 \cdot \alpha^2 + 0,0633 \cdot \alpha, \quad (13)$$

$$C_D = 0,0005 \cdot \alpha^2 - 0,002 \cdot \alpha + 0,0129. \quad (14)$$

Ромб, квадрат – экспериментальные данные, взятые из [1] для профиля NASA-0021.

Как видно из рис. 2, экспериментальные данные NASA достаточно хорошо согласуются формулами (13) и (14).

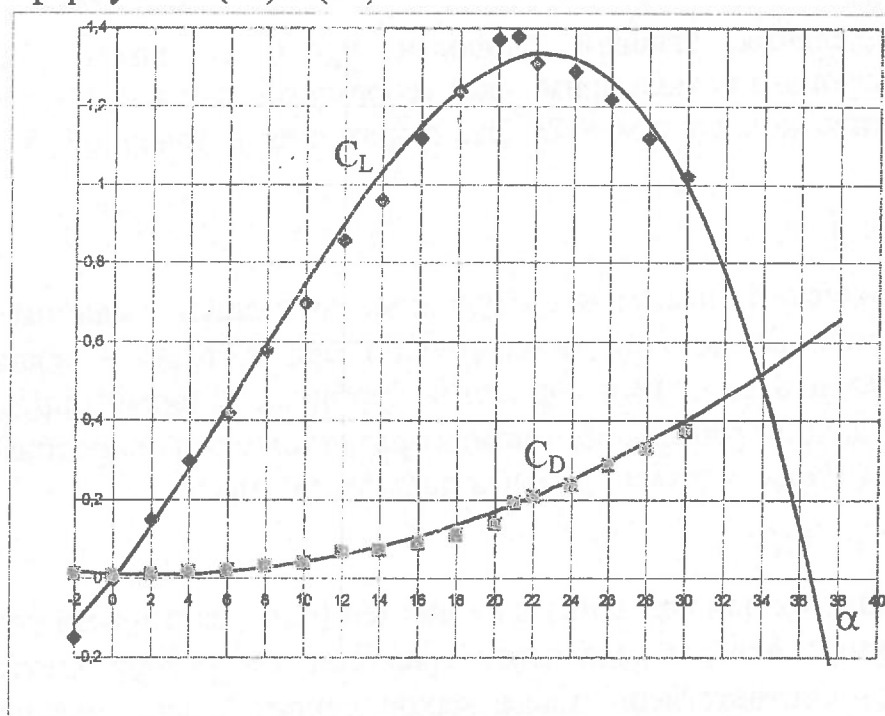


Рис. 2. Коэффициенты подъемной силы C_L и силы сопротивления C_D для симметричного профиля NASA-0021

Запишем выражения для вращающего момента турбины для наветренной части ветроколеса при $\theta \in [0, \pi]$ случая:

$$M_1 = \frac{nhr_o H}{\pi} \int_0^\pi \rho \frac{W^2}{2} (C_L(\alpha) \sin \alpha - C_D(\alpha) \cos \alpha) d\theta, \quad (15)$$

где, n – число лопастей ротора, H – длина рабочей лопасти.

Аналогично и в подветренной стороне при изменении $\theta \in [\pi, 2\pi]$, выражения для вращающего момента турбины запишется в виде

$$M_z = \frac{Nhr_o H}{\pi} \int_{\pi}^{2\pi} \rho \frac{W'^2}{2} (C_L(\alpha') \sin \alpha' - C_D(\alpha') \cos \alpha') d\theta, \quad (16)$$

где W' — скорость атаки на профиле рабочей лопасти в подветренной части ветротурбины.

Запишем выражения для вращающего момента

$$M = \frac{Nhr_o H}{\pi} \int_0^{2\pi} \rho \frac{W^2}{2} (C_L \sin \alpha - C_D \cos \alpha) d\theta. \quad (17)$$

В формуле (17) N — число лопастей ротора, H — высота ротора.

В теоретических подходах к расчету аэродинамики ветротурбин наибольшее развитие получили представления о взаимодействии трубки тока с вращающимся ветроколесом как активным пронизываемым диском. Здесь получены все основные результаты: крутящий момент, связь мощности машины с энергией ветра, коэффициент использования энергии ветра и другие характеристики.

Для определения угловой скорости вращения ротора Дарье при воздействии ветрового потока применяем теорему об изменении кинетического момента механической системы [2]. Эта выражения в конечной форме имеет вид

$$\frac{dL_z}{dt} = M_{турб} + \sum M_i, \quad (18)$$

где L_z — кинетический момент ветротурбины, состоящей в данном случае из вала, маха и рабочей лопасти относительно оси z . $M_{турб}$ — вращательный момент, создаваемый рабочими лопастями турбины, который определялся во втором разделе данной работы, M_i — момент различных сил сопротивления.

Для турбины Дарье с двумя прямыми лопастями имеем

$$I = \frac{2}{3} r_o^2 m_m + r_o^2 m_l + r_a^2 m_a, \quad (19)$$

где r_o — расстояние от оси вращения до лопастей (оно практически равно длине махов), r_a — радиус вала, передающего вращение генератору электрического тока, m_m , m_l , m_a — соответственно массы махов, лопастей, вала вращения.

Разность времени выразим

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{d\theta}{dt}, \quad (20)$$

где $d\theta$ соответствует углу поворота рабочей лопасти относительно оси z за промежуток времени dt ; T — затраченное время за один оборот турбины.

Отсюда следует написать

$$dt = \frac{T}{2\pi} d\theta = \frac{1}{\omega} d\theta. \quad (21)$$

Подставив (20) в формулу (18), получим

$$\omega \frac{dL_z}{d\theta} = M_{турб} + \sum M_i. \quad (22)$$

Угловая скорость вращения турбины при воздействии жидкости поступающей из гидронасоса и меняющейся в зависимости от работы дросселя

$$I\omega \frac{d\omega}{d\theta} = M_{\text{турб}} + \sum M_i, \quad (22')$$

Формулу (22') напомним в разностном виде

$$I\omega \frac{\omega^{n+1} - \omega^n}{\theta^{n+1} - \theta^n} = M_{\text{турб}} + \sum M_i, \quad (23)$$

где $M_{\text{турб}} = (R_L \sin \alpha - R_D \cos \alpha) r_o$

$$\omega^{n+1} = \omega^n + \frac{(R_L \sin \alpha - R_D \cos \alpha) r_o + \sum M_i}{I\omega^n} (\theta^{n+1} - \theta^n), \quad (23')$$

где ω^{n+1} и ω^n — соответственно, угловые скорости турбины в момент времени t^{n+1} и t^n . Таким образом, определение угловой скорости ω будет продолжаться, пока не сойдется к своему единственному значению (см. рис. 3, 4).

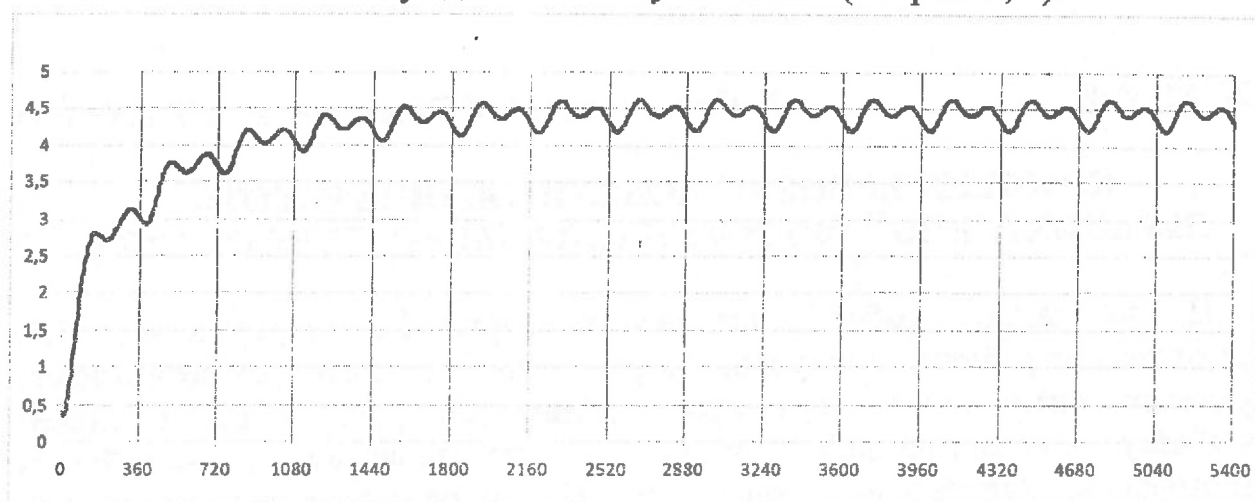


Рис. 3. График зависимости угловой скорости от положения движущейся рабочей лопасти при относительно малой величине $I=0,5$ и без учета сопротивления на турбину

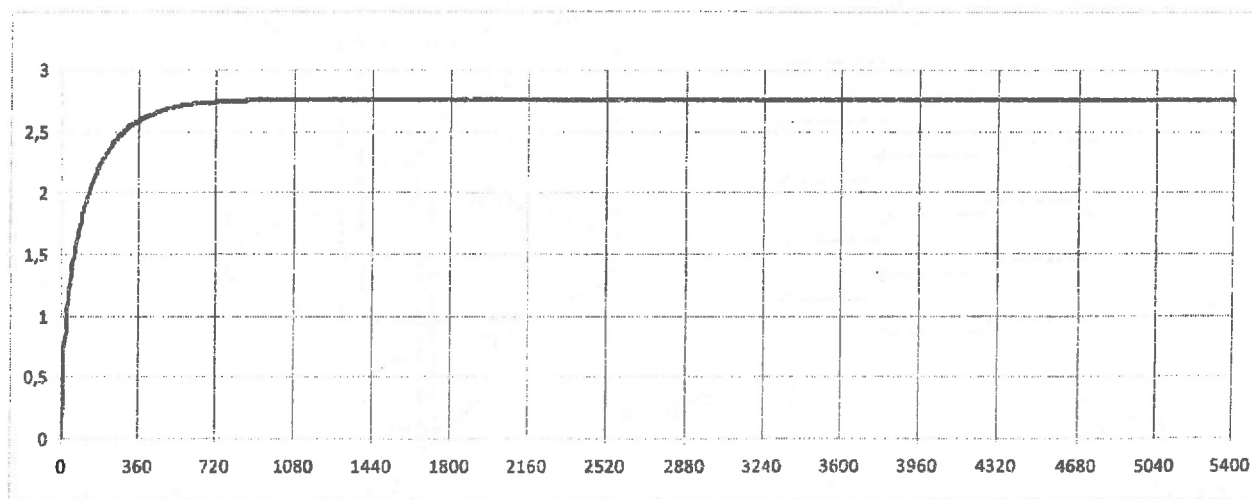


Рис. 4. График зависимости угловой скорости от положения движущейся рабочей лопасти при $I=0,5$ и с учетом сопротивления на турбину 10 %

Список литературы

1. Ершина А.К., Ершин Ш.А., Жапбасбаев У.К. Основы теории ветротурбины Дарье. – Алматы, 2001. – 104 с.
2. Ершин Ш.А., Тулепбергенов А.К. Об одной нелинейной задаче ветротурбины карусельного типа //Материалы Международной конференций: Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент. – Караганда, 1997. – С. 86–92.
3. Jon Paraschivoiu and Philippe Desy. Aerodynamics of Small – Scale Vertical – Axis Wind Turbines //J. Propulsion. – 1986. – Vol. 2, № 3. – P. 282-288.

УДК 621.548

А.М.Сатымбеков, А.К.Тулепбергенов, Ж.Р.Уалиев

КОМПЬЮТЕРНОЕ 2D МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ВЕТРОТУРБИНЫ КАРУСЕЛЬНОГО ТИПА

Целью данной работы является рассмотрение теоретического 2D моделирования работы ветротурбины карусельного типа, что дает возможность определить оптимальные параметры турбины (см. рис. 1). Рассматриваем разработку математической модели для исследования взаимодействия ветротурбины карусельного типа “Дарье” со стационарным воздушным потоком /1-3/.

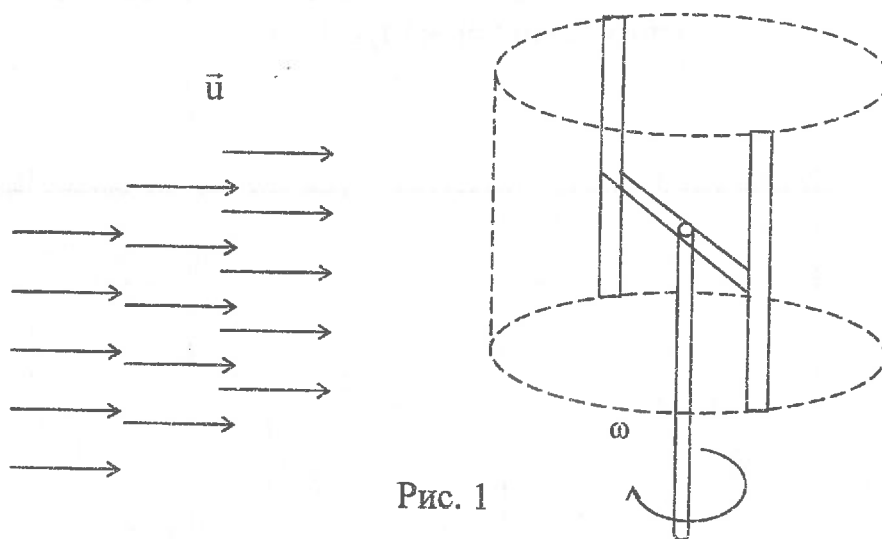


Рис. 1

Математическая модель воздействия стационарного воздушного потока со скоростью “ u ” на вращающуюся ветротурбину «Дарье» (радиусом r_0) с угловой скоростью ω (эта показана на рис.2 – принципиальная схема) описывается стационарными уравнениями Навье-Стокса и неразрывности и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} R_x, \\ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} R_y, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

С граничными условиями

$$\begin{aligned} u(x,0)=u(x,1)=u(0,y)=u_\infty, \quad \frac{\partial u(1,y)}{\partial x} = 0; \\ v(x,0)=v(x,1)=v(0,y)=0, \quad \frac{\partial v(1,y)}{\partial x} = 0. \end{aligned} \quad (1')$$

В качестве аэродинамических сил сопротивления ветровому потоку берутся проекции осредненных сил сопротивления и подъемной силы лопасти (в обратном направлении) на оси Ox и Oy в виде сосредоточенных источников R_x , R_y и входят в правую часть уравнений движения [2-5].

Для определения этих массовых сил сначала определяются угол атаки α и скорость атаки $\vec{W}$, а коэффициенты подъемной силы и сил сопротивления зависят только от угла атаки.

$$\begin{aligned} |\vec{W}| &= \sqrt{(u \sin \theta + v \cos \theta)^2 + (r_0 \omega + u \cos \theta + v \sin \theta)^2}, \\ \operatorname{tg} \alpha &= \frac{u \sin \theta + v \cos \theta}{r_0 \omega + u \cos \theta + v \sin \theta}. \end{aligned} \quad (2)$$

Вводя локальное число быстроходности $Z = \frac{r_0 \omega}{u_\infty}$, получим

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{u \sin \theta + v \cos \theta}{Z + u \cos \theta + v \sin \theta} \right). \quad (3)$$

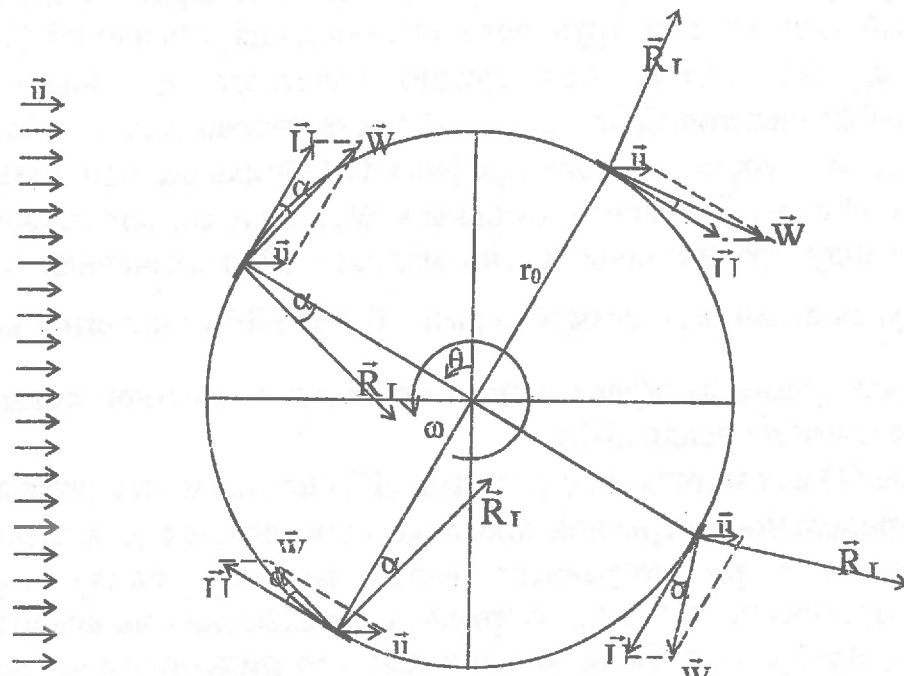


Рис. 2

Для определения аэродинамических сил введем единичные векторы, как показано на рис.3: $\vec{e}_w$ – единичный вектор сопротивления, направленный вдоль вектора относительной скорости и $\vec{e}_L$ – единичный вектор подъемной силы, направленный перпендикулярно ему.

Элементарные составляющие аэродинамических сил:

а) подъемная сила профиля:

$$\vec{R}_L = C_L(\alpha) \rho \frac{W^2}{2} h \vec{e}_L, \quad (4)$$

где $C_L(\alpha)$ – коэффициент подъемной силы, h – длина хорды профиля,

б) сила сопротивления

$$\vec{R}_D = C_D(\alpha) \rho \frac{W^2}{2} h \vec{e}_w. \quad (5)$$

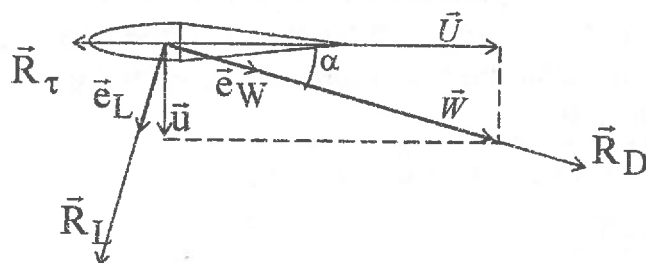


Рис. 3

Коэффициенты $C_L(\alpha)$, $C_D(\alpha)$ как формулы угла атаки являются результатами продувок используемого профиля для значений α в интервале $0-360^\circ$. Но данный подход дает трудности для решения уравнений (1) в виде переменных (ψ , ω), потому что трудно извлекать из дифференциала переменных коэффициентов $C_L(\alpha)$, $C_D(\alpha)$. Лопасть рассматривается как тонкая пластинка, тогда из теории тонкого профиля $C_L(\alpha) = 2\pi \sin \alpha$ при $13 \leq \alpha \leq 13^\circ$. Вектор подъемной силы $\vec{R}$ перпендикулярен к $\vec{W}$, а силу сопротивления можно не учитывать ввиду сравнительно очень малости. При значениях параметра $Z = \frac{r_o \omega}{u_\infty} = \frac{U}{u_\infty} > 5$ угол атаки α во всем интервале $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$ становится менее 13° , что отвечает уже условиям эффективного действия подъемной силы во всей ометаемой лопастями площади, 5-7/.

Уравнение (1) с граничными условиями (1') сначала приводится к виду ψ - ω и методом продольно-поперечной прогонки определяется ω , а затем ψ . Для проведения расчетов рассмотренным выше методом была разработана компьютерная программа на языке Фортран и реализована на компьютере. С помощью этой программы были рассчитаны аэродинамические параметры ветротурбины. На рис. 4 показан график поля скоростей взаимодействия ветротурбины со стационарным воздушным потоком.

Запишем выражения для вращающего момента турбины

$$M = \frac{nhr_0 H}{\pi} \int_0^\pi \rho \frac{W^2}{2} (C_L(\alpha) \sin \alpha - C_D(\alpha) \cos \alpha) d\theta, \quad (6)$$

где n – число лопастей ротора, H – длина рабочей лопасти.

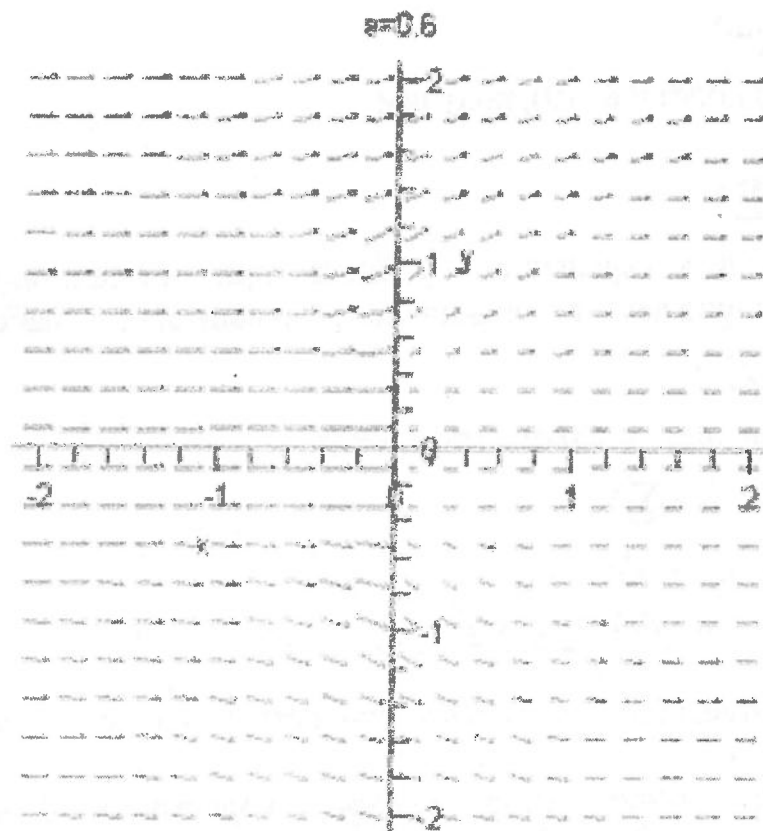


Рис. 4

Для определения угловой скорости вращения ротора Дарье при воздействии ветрового потока применяем теорему об изменении кинетического момента механической системы.

$$\frac{dL_z}{dt} = M_{турб} + \sum M_i, \quad (7)$$

где L_z – кинетический момент ветротурбины, состоящей в данном случае из вала, маха и рабочей лопасти относительно оси z , $M_{турб}$ – вращательный момент, создаваемый рабочими лопастями турбины, который определялся во втором разделе данной работы, M_i – момент различных сил сопротивления.

Для турбины Дарье с двумя прямыми лопастями имеем

$$I = \frac{2}{3} r_0^2 m_m + r_0^2 m_l + r_a^2 m_a, \quad (8)$$

где r_0 – расстояние от оси вращения до лопастей (оно практически равно длине махов), r_a – радиус вала, передающего вращение генератору электрического тока, m_m , m_l , m_a – соответственно массы махов, лопастей, вала вращения.

Разность времени выразим

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{d\theta}{dt}, \quad (9)$$

где $d\theta$ соответствует углу поворота рабочей лопасти относительно оси z за промежуток времени dt ; T – затраченное время за один оборот турбины.

Отсюда следует написать:

$$dt = \frac{T}{2\pi} d\theta = \frac{1}{\omega} d\theta, \quad (10)$$

В формулу (7) подставив (9), получим

$$\omega \frac{dL_z}{d\theta} = M_{турб} + \sum M_i, \quad (11)$$

Угловая скорость вращения турбины при воздействии жидкости, поступающей из гидронасоса и меняющейся в зависимости от работы дросселя,

$$I\omega \frac{d\omega}{d\theta} = M_{турб} + \sum M_i. \quad (12)$$

Формулу (12) напомним в разностном виде

$$I\omega \frac{\omega^{n+1} - \omega^n}{\theta^{n+1} - \theta^n} = M_{турб} + \sum M_i, \quad (13)$$

где $M_{турб} = (R_L \sin \alpha - R_D \cos \alpha) r_o$

$$\omega^{n+1} = \omega^n + \frac{(R_L \sin \alpha - R_D \cos \alpha) r_o + \sum M_i}{I\omega^n} (\theta^{n+1} - \theta^n), \quad (14)$$

где ω^{n+1} и ω^n – соответственно, угловые скорости турбины в момент времени t^{n+1} и t^n .

Таким образом, определение угловой скорости ω будет решаться совместно уравнениями (1) и (14) вышесказанным методом.

Далее будет разработана полная математическая 2D модели нестационарной работы ветротурбины карусельного типа. Проанализировав результаты численного расчета, возможно определить оптимальные параметры турбины /8-11/.

Полученные результаты будут полезны инженерам и проектировщикам при проектировании и изготовлении ВЭУ с высокими технико-экономическими показателями.

Список литературы

1. Турян К. Дж., Стрикленд Дж., Х., Бэрг Д.Э. Мощность ветроэлектрических агрегатов с вертикальной осью вращения //Аэрокосмическая техника. – 1988. – № 8. – С. 105-121.
2. Migliore P.G., Wolfe W.P., Fanucci J.B. Flow Curvature Effects on Darrieus Turbine Blade Aerodynamics //J. Energy. – 1980. – Vol. 4, № 2. – P. 49-55.
3. Mei-Kao Liu, Mark A. Yocke, and Tomas C. Myers. Mathematical Model For the Analysis of Wind – Turbine Wakes //J. Energy. – 1983. – Vol.7, № 1. – P.73-78.

4. Ganesh Rajagopalan R. and Jerome B. Fanucci Finite Difference Model for Vertical Axis Wind Turbines //J. Propulsion. – 1985. – Vol. 1, № 6. – P. 432-436.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука. 1987. – 840 с.
6. Jon Paraschivoiu and Philippe Desy. Aerodynamics of Small – Scale Vertical – Axis Wind Turbines //J. Propulsion. – 1986. – Vol. 2, № 3. – P. 282-288.
7. Brochier G., P. Fraunie, and Bequier C. Water Channel Experiments of Dynamic Stall on Darrieus Wind Turbine Blades //J. Propulsion. – 1986. – Vol. 2, №5. – P. 445-449.
8. Сатымбеков А.М., Тулепбергенов А.К., Уалиев Ж.Р. // Численный расчет угловой скорости вращения ротора Дарье III Всероссийская научная конференция. РФ, г.Якутск, 2012. – С167.
9. Yershina A.K., Manatbayev R.K., Tulepbergenov A.K. Development and prospects of use renewed energy sources (RES) in Kazakhstan // V World Congress of the engineering and Technologies – WCET-2012. – Kazakhstan, Almaty, 2012. – p.169-170.
10. Satymbekov A.M., Tulepbergenov A.K., Ualiev Zh.R. Numerical modeling of modern wind turbines (carousel type) //V World Congress Engineering and Technology – WCET-2012, Kazakhstan, Almaty. 2012. – p.294-296.
11. Tulepbergenov A.K., Sherniazov K.E. The Vortex Model of the Wind turbine Darrie // IV Congress of the Turkic World Mathematical Society. – Azerbaijan, Baku, 2011. – p.475.

УДК 622:831

М.Ю. Абдылдаев, К.Т. Шамуратов

ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ПРЕПЯТСТВИЕ

Рассматривается плоское течение идеальной, несжимаемой жидкости в канале с дном, имеющим препятствие в виде трапеции (рис. 1).

Подобные задачи решались многими авторами как для случая тяжелой жидкости, так и для случая идеальной жидкости [1; 2; 3; 4; 6], причем при отсутствии препятствия ABCG (прямоугольник) и $\alpha = -\pi/2$ имеем задачу Н.Е. Кочина, течение по дну с уступом.

Н.Е. Кочин, М.И. Гуревич, Э. Дуйшеев и другие авторы, рассматривая течение тяжелой жидкости, рассчитывали влияние силы тяжести.

Задача Н.Е. Кочина для случая идеальной жидкости с эффектом кавитации решена В.И. Степановой [4]. Схема рассмотренного ею течения в предположении, что за уступом образуется зона разрежения, аналогичная каверне за обтекаемым препятствием, изображена на рис 2.

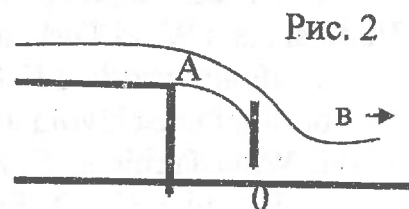
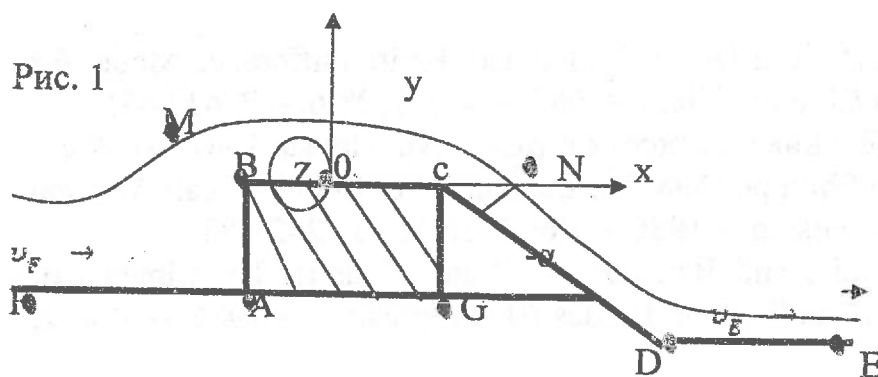


Рис. 1. Картина течения в физической плоскости $z = x + iy$

В ряде работ М.Ю. Абдылдаева используется кавитационное обтекание препятствий ограниченным потоком [2]. В этих работах он решает задачи кавитационного обтекания препятствий в виде прямоугольника, расположенного на краю уступа (водослива с широким порогом).

Моделирование подобных объектов достаточно широко встречается в гидротехнических разработках, а именно в расчетах гидротехнических сооружений, в теории кумулятивных зарядов и других гидравлических машин.

Перейдем к решению поставленной задачи методом Н.Е. Жуковского, уже рассмотренной Э. Дуйшеевым [3] задачи о течении тяжелой жидкости через препятствие, схема которой изображена на рис. 1. При этом предположим, что жидкость невесома, идеальна и несжимаема.

Для решения задачи отобразим области изменения $dw/(V_0 dz)$ и W на верхней полуплоскости параметрического переменного t [$\text{Im} t \geq 0$] (рис. 4).

Пусть на одной граничной линии тока $FABCDE$ функция тона $\psi=0$, а на другой граничной линии тона $FMNE$ $\psi=q$. На поверхности потока $FMNE$ абсолютная величина скорости равна V_0 .

При движении вдоль линий тока потенциал скорости ϕ , очевидно, меняется от $-\infty$ до $+\infty$.

Таким образом, областью изменения W является полоса (рис. 3) шириной q . Отображение этой полосы на верхнюю полуплоскость переменной t (рис. 4) осуществляется с помощью функции

$$W(t) = \frac{q}{\pi} \ln t. \quad (1)$$

Действительно, на $FMNE$ мнимая часть w равна $+q$, а действительная

меняется

от $-\infty$ в точке $t=0$ до $+\infty$ в точке $t=+\infty$. При обходе точки $t=0$ по бесконечно

малой полуокружности против часовой стрелки (рис. 4) комплексный

потенциал изменяется скачком на $q \cdot i$ и вдоль FMNE, комплексный

потенциал $w = \frac{q}{\pi} \ln |t| = \varphi$ будет действительным, причем φ будет изменяться

от $-\infty$ в точке $t=0$ до $+\infty$ в точке $t=+\infty$. В верхней полуплоскости w аналитична. Формула (1) получена с помощью формулы Кристоффеля Шварца, рассматривая полосу как двуугольник.

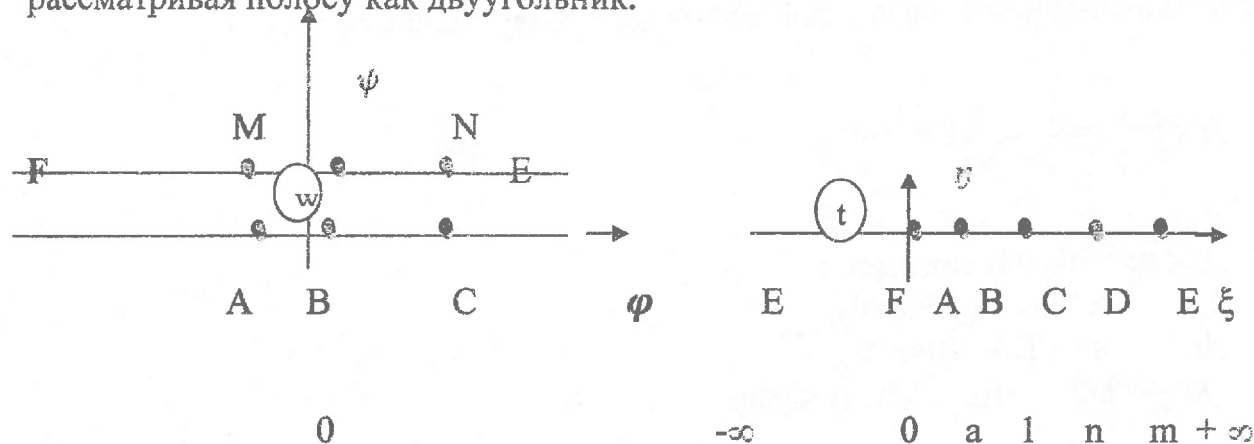


Рис. 3. Область течения в плоскости $w = \varphi + i\psi$. Рис. 4. Параметрическая

плоскость $t = \xi + i\eta$.

Найдем теперь функцию

$$w = \ln \zeta = - \ln \frac{dw}{v_0 dz} = - \ln \frac{v}{v_0} + i\theta; \quad (2)$$

где $\xi = \frac{dw}{v_0 dz}$, v_0 - скорость на поверхности потока (FMNE), θ - угол скорости с осью абсцисс X .

При отображении области течения на плоскости Жуковского имеем двулиственную область. Ввиду сложности отображения двулиственной области в верхней полуплоскости t применим интеграл Шварца для верхней полуплоскости /5/

$$f(z) = \frac{1}{\pi \cdot i} \int_{-\infty}^{+\infty} u(\xi) \frac{d\xi}{\xi - z} + iC, \quad (3)$$

где $u(\xi)$ - известные значения вещественной части функции на действительной оси $t = \xi$, C - действительная постоянная.

Введем связанную с функций Жуковского новую функцию /5/

$$\Omega(t) = \frac{\omega \sqrt{t}}{i \sqrt{t}} \frac{\theta}{\sqrt{t}} - i \frac{1}{\sqrt{t}} \ln \frac{v_c}{v} \quad (4)$$

Для нашего случая имеем:

$$\begin{aligned} 0 & \text{ на EF } (-\infty < \xi < 0), \\ 0 & \text{ на EA } (0 < \xi < a), \\ \operatorname{Re} \frac{\omega}{i \sqrt{t}} = \pi/2 & \text{ на AB } (a < \xi < 1), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} 0 & \text{ на BC } (1 < \xi < n), \\ -\alpha & \text{ на CD } (n < \xi < m), \\ 0 & \text{ на DE } (m < \xi < +\infty). \end{aligned}$$

Подставив $\theta/\sqrt{t}$ из (5) в (4) и произведя интегрирование, получим:

$$\omega(t) = \ln \left(\frac{1-\sqrt{t}}{1+\sqrt{t}} \cdot \frac{\sqrt{a}+\sqrt{t}}{\sqrt{a}-\sqrt{t}} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\sqrt{m}+\sqrt{t}}{\sqrt{m}-\sqrt{t}} \cdot \frac{\sqrt{n}-\sqrt{t}}{\sqrt{n}+\sqrt{t}} \right)^{\alpha/\pi} \quad (6)$$

(здесь $C=0$, так как $\omega/i\sqrt{t} \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$). Параметры a , n , m , и 1 - абсциссы точек на действительной оси t (рис. 4).

Формула (6) допускает прямую проверку. Очевидно, при $(0 < t < a)$ имеем $\operatorname{Im} \omega = 0$, при $(a < t < 1)$, $\operatorname{Im} \omega = \pi/2$, при $(1 < t < n)$ - $\operatorname{Im} \omega = 0$, при $(n < t < m)$ имеем $\operatorname{Im} \omega = -\alpha$, при $(m < t < +\infty)$, $\operatorname{Im} \omega = 0$ и, наконец, при $(-\infty < t < 0)$ имеем $\operatorname{Im} \omega = 0$.

Из (1) и (6) следует, что

$$z(t) = \frac{a}{\pi \cdot v_0} \cdot \int_1^t \left(\frac{1-\sqrt{t}}{1+\sqrt{t}} \cdot \frac{\sqrt{a}+\sqrt{t}}{\sqrt{a}-\sqrt{t}} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\sqrt{m}+\sqrt{t}}{\sqrt{m}-\sqrt{t}} \cdot \frac{\sqrt{n}-\sqrt{t}}{\sqrt{n}+\sqrt{t}} \right)^{\alpha/\pi} \cdot \frac{dt}{t}. \quad (7)$$

Формулы (1) и (7) дают общее решение задачи в параметрической форме.

Используя формулу (7), можно найти все геометрические элементы течения, такие как размеры препятствия, а также уравнение линии тока FMNE, где точки M и N являются точками перегиба линии.

Для нахождения линии тока FMNE (рис.1) достаточно проинтегрировать (7) вдоль этой линии и, отделив действительную и мнимую части, найти уравнение линии тока в параметрическом виде.

Список литературы

1. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. – М., 1961.
2. Абдылдаев М.Ю. Плоские задачи теории струй идеальной жидкости. – Бишкек: Илим, 1999.
3. Дуйшеев Э. Исследование по теории водосливов //Изв. вузов. Математика. – 1958. – № 2(3),
4. Степанова В.И. Применения кавитационной схемы Эфроса- Гильберга к исследованию течения жидкости через уступ. – М.:МОИП, секция физики, 1972.
5. Лаврентьев М.А и Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. – М.-Л., 1951.
6. Кочин Н.Е. О движении тяжелой жидкости в канале с дном, имеющим уступ. //Собр.соч. – М.:Изд-во АН СССР, 1949 .

УДК.532.546

Р.Дж.Урманбетов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ И СОЛЕЙ В ПОЧВОГРУНТАХ И ЕГО ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Борьба с засолением почвогрунтов имеет большую актуальность, остроту и по сегодняшний день. Известно, что на процесс засоления почвогрунтов влияют множество факторов окружающей среды. Для успешного исследования процесса рассоления почвогрунтов необходимо выделить главные факторы, обуславливающие направленность процессов «засоления-рассоления». Таких факторов три: интенсивность испарения, интенсивность фильтрации, энергия потока грунтовых вод. Не останавливаясь подробно на этих факторах, знаем, что они зависят от климата, типа почв, растительности, глубиной залегания и энергией потока грунтовых вод, хозяйственной деятельностью человека. Все эти факторы можно исчислять численно, т.е. миграцию солей в почвогрунтах можно рассматривать и с количественной стороны. Математическое описание движения солей в почвогрунтах даны в работах /1, 2, 3, 4/, а также в исследованиях других авторов. В этих работах рассматриваются существующие

математические модели процессов солепереноса в почвогрунтах, критический анализ научных исследований по вопросам конвективной диффузии, сорбции и ионного обмена в горных породах. Изучены некоторые модели – дифференциальные уравнения, которые описывают процессы миграции различных солей, приводятся методы определения необходимых параметров. Причем экспериментальные и лабораторные наблюдения свидетельствуют о недопустимости пренебрежения определенными динамическими факторами, обуславливающими нестационарность процесса движения воды и солей в почвогрунтах.

Нестационарное движение солей в пористой среде при неустановившемся движении воды, описывается следующей системой уравнений:

$$\frac{\partial H}{\partial t} \operatorname{div} (D(H) \operatorname{grad} H) + v \frac{\partial H}{\partial x} + F; \quad (1)$$

$$P(v, H) = \operatorname{grad} H; \quad (2)$$

$$n \frac{\partial C}{\partial t} \operatorname{div} (D(v) \operatorname{grad} C) - \operatorname{div} (v \cdot c) + \beta(v)(C_m - C), \quad (3)$$

здесь n – активная пористость, $D(v)$, $\beta(v)$ – коэффициенты конвективной диффузии и скорости растворителя, которые зависят от скорости фильтрации v , C и C_m – концентрации солей и предельного насыщения, t – рассматриваемый промежуток времени.

Уравнения (1) и (2) описывают гидродинамическую картину течения в пористой среде. В случае насыщенной фильтрации уравнение (1) представляет собой нелинейное уравнение неустановившейся безнапорной фильтрации относительно функции пьезометрического напора h (уравнение Буссинеска). В этом случае: $D(H) = \frac{k}{\delta} H$, $H = h$, где k – коэффициент фильтрации, δ –

водоотдача или недостаток насыщения грунта, $v=0$, F – функция, учитывающая влияние источников и стоков.

При ненасыщенной фильтрации уравнение (1) представляет собой нелинейное уравнение влагопереноса. В этом случае H – влажность, $D(H)$ – коэффициент диффузии, а последние два слагаемые учитывают влияние гравитации и источников или стоков. При фильтрации в ненасыщенной пористой среде уравнение (2) выражает связь, не обязательно линейную, между градиентом пьезометрического напора h и скоростью фильтрации v . Здесь скорость течения не принимается постоянной или заданной переменной величиной, она определяется посредством решения начально-краевой задачи. Третье уравнение (3) описывает диффузию растворимого вещества.

Для рассматриваемой системы уравнений (1-3) нестационарного одномерного случая определим его решение со следующим начально-краевыми условиями:

$$H(x, t)|_{t=0} = H_0(x), \quad C(x, t)|_{t=0} = C_0(x), \quad (4a)$$

$$\left\{ \alpha_{1,p}(t) \cdot H(x, t) + z_{1,p}[t, H(x, t)] \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right\} \Big|_{x=d_p(t)} = H_p(t), \quad (46)$$

$$\left\{ \alpha_{2,p}[t, v(x, t)]C(x, t) + z_{2,p}[t, C(x, t)] \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right\} \Big|_{x=d_p} = C_p(t); \quad (4в)$$

$$P = 0; 1, \quad d_p = \begin{cases} 0 & \text{при } P = 0 \\ L & \text{при } P = 1. \end{cases}$$

Решение системы уравнений (1-4) эффективно возможно с помощью неявного конечно-разностного метода, а коэффициенты при α, z в начально-краевых условиях (4б-4в) задаются различным образом, в зависимости от конкретных условий на границах опресняемого массива.

Программа рассчитана как на решение двух уравнений в частных производных (1,2) с условиями (4), так и на решение системы трех уравнений (1,2,3) – при краевых условиях (4). Такая структура программы позволяет вносить изменения в исходные значения, связанную с гидродинамическими уравнениями, не затрагивая уравнения конвективной диффузии. Эта же программа позволяет решать уравнение рассоления (3) и при постоянной скорости фильтрации. Указанные особенности данной программы учитывают различные режимы фильтрации. Расчеты, проводившиеся при различных краевых условиях, показывают устойчивость разностной схемы и её достаточную точность.

Численная реализация начально-краевой задачи проводилась при следующих значениях параметров уравнений (1-3):

$$H(x, t) \Big|_{t=0} = p_1 x + p_2, \text{ где } p_1 > p_2 \text{ некоторые const, } c(x, t) \Big|_{t=0} = \text{const}; \quad (5a)$$

$$\begin{cases} H(x, t) \Big|_{x=0} = p_2 \\ H(x, t) \Big|_{x=p} = p_1 p + p_2 \end{cases} \quad \begin{cases} \left[v(x, t) - D \frac{\partial C}{\partial x} \right] \Big|_{x=0} = C_1 \cdot v(0, t), \text{ где } C_1 = \text{const.} \\ \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=p} = \text{const.} \end{cases} \quad (5б)$$

Численно определяли понижение концентрации солей по времени на различных отметках x , определяемого массива. На рис.1. и рис.2. изображены графики понижения концентрации солей на различных отметках, опресняемого массива в случае, когда константа скорости растворения β положена равной и не равной нулю, соответственно. Во втором случае заметна большая скорость изменения концентрации солей. На рис. 3 указана соответствующая рис.1 и 2 динамика пьезометрического напора.

Рассмотренная система уравнения параболического типа (1-3), описывающая конвективную диффузию солей в почвогрунтах, не отражает многих важных явлений гидродинамического и физико – механического характера, формирующих в совокупности сложный механизм переноса солей в почвогрунтах. Поэтому полный учет гидрофизических явлений, сопровождающих движение солей в почвогрунтах, приводят к системам

дифференциальных уравнений, содержащих операторы параболического и гиперболического типа одновременно.

Во второй части этой работы, нами рассматривается моделирование влагопереноса в зоне аэрации при периодических поливах, при выпадении осадков на орошаемых территориях, для которых наиболее характерен периодический режим увлажнения поверхности земли. За период полива или выпадения осадков промачиваются почвенный и подпочвенный слои, имеющие обычно повышенную проницаемость, после чего происходит перенос влаги под действием гравитационных и капиллярных сил с учетом испарения.

Для описания влагопереноса в вертикальном направлении, обычно используют дифференциальное уравнение вида:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(w) \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial k}{\partial x}, \quad (6)$$

где $D(w)$, $k(w)$ – коэффициенты диффузии и влагопроводности, причем существенно нелинейно зависят от влажности w .

В настоящее время, существует ряд экспериментальных и теоретических зависимостей этих параметров от влажности. С.Ф. Аверьянов предлагает

следующие зависимости: $K = K_{\phi} \bar{w}^n$, $\bar{w} = \frac{w - w^*}{w_n - w^*}$, $n = 3 \div 4$, (7)

где w_n – влажность при полном насыщении, w^* – влажность, при котором коэффициент фильтрации практически равен 0, K_{ϕ} – коэффициент фильтрации при полном насыщении.

Экспериментальными данными ученых показано также, что коэффициенты влагопереноса и влагопроводности могут быть записаны в виде экспоненциального закона

$$k = k_0 \exp[\alpha(w - w_0)], \quad D = D_0 \exp[\beta(w - w_0)], \quad (8)$$

при этом k_0, D_0, β – постоянные, определяемые экспериментальным путем. При численном решении уравнения (6) рассматривается пример при периодических поливах с заданием следующих параметров рассматриваемой задачи: при поливе нормой $600 \text{ м}^3/\text{га}$, при начальной влажности $W_0 = 0,22$, происходит промачивание на глубину 1 м. Среда считается гомогенная, для k и D используется зависимости (8), в которых:

$$\alpha = 40, \quad \beta = 20, \quad w = 0,22 - 0,3: \quad \frac{k_0}{D_0} = 0,01, \quad k_{\text{ср}} = 1,5 \text{ м/сут.}$$

$$\alpha = 84, \quad \beta = 72, \quad w = 0,3 - 0,36: \quad (9)$$

$\gamma = 0,1 \text{ м/сут.}$ – в граничном условии на поверхности почвы.

Полученные графики распределения влажности по глубине в разные моменты времени указаны на рис.4. Такие расчеты для поливов, проводимых через 15 суток, позволили установить, что в зоне аэрации изменение влагозапасов в долях от питания составляет: 38 % – после I-го полива, 25 % – после

II-го полива, 14 % – после III-го полива, что свидетельствует об увеличении роли испарения при повторных поливах.

Проведены численные расчеты для гетерогенной среды, а верхний слой глубиной 1 м остается однородным. Полученные результаты, представленные на рис. 4, показывают, что влияние гетерогенности среды оказывается существенным, заметно увеличивая глубину проникновения инфильтрующей воды при некотором уменьшении влагозапасов.

Решение нелинейного уравнения влагопереноса (6) очень сложно ввиду его сложной зависимости коэффициентов влагопереноса и влагопроводности. Поэтому несомненным интерес представляет его линеаризация, анализ возможностей таких линеаризаций. Решение нелинейного уравнения (6) очень сложно, поэтому приведем это уравнение к линеаризованному виду:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D_0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + k_0 \frac{\partial w}{\partial x} \quad (10)$$

где $D_0 = k_0 \psi_0$, $k_0 - \text{const}$. Существуют различные приложения по способам осредненных величин D_0 и k_0 , из которых наибольшее распространение имеет способ линеаризации в средней точке, когда при изменении влажности от w_1 до w_2 в течение расчета всей задачи принимается:

$$D_0 = \frac{1}{w_2 - w_1} \int_{w_1}^{w_2} k \psi \, dw \approx \frac{1}{w_2 - w_1} \int_{w_1}^{w_2} D \, dw; \quad k_0 = \frac{1}{w_2 - w_1} \int_{w_1}^{w_2} k' \, dw \quad (11)$$

Второй способ, которым проводили расчет уравнения (10), когда D_0 , k_0 принимаются в каждый момент времени в такой точке, где интенсивность изменения влажности оказывается наибольшей, а при расчетах на период времени от 0 до t значения осредненных параметров определяются как средневзвешенные во времени, то есть

$$D_0 = \frac{1}{t} \int_0^t D_{\max} \, dt \approx \frac{1}{t} \sum_0^t D_{\max} \, \Delta t; \quad k_0 = \frac{1}{t} \int_0^t k'_{\max} \, dt \approx \frac{1}{t} \sum_0^t k'_{\max} \, \Delta t. \quad (12)$$

Численное решение вышеуказанной линеаризованной задачи приведено и построен график распределения влажности на рис.5.

Сопоставление результатов, подсчитанных двумя способами, показывает, что при линеаризации первым способом (в средней точке) расхождение с расчетам нелинейного уравнения составляет 7% при $t=5$ суткам и 13% при $t=10$ суткам при линеаризации вторым способом по среднему из минимальных значений. Это расхождение равно 5 % при $t=5$ суткам, и 2 % – при $t=10$ суткам. Таким образом, линеаризация дала удовлетворительные результаты, особенно во втором случае.

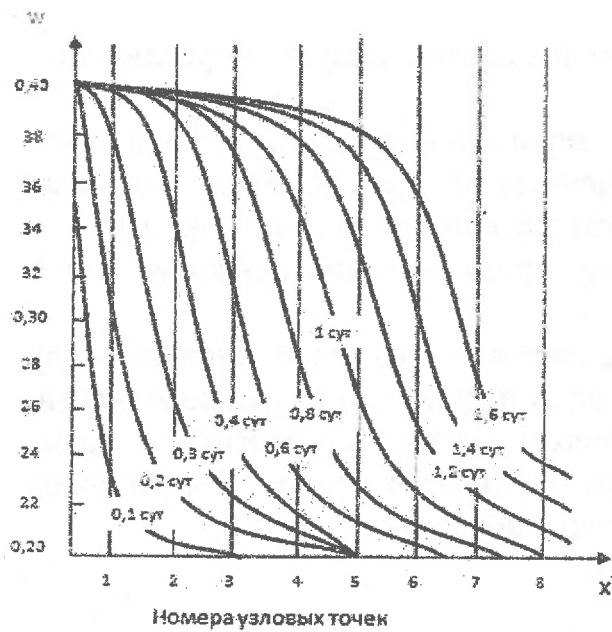


Рис.1. Изменение влажности вдоль колонки грунта во времени при $\Delta x = 0,1$ м; $\Delta t = 1,0$ сут.

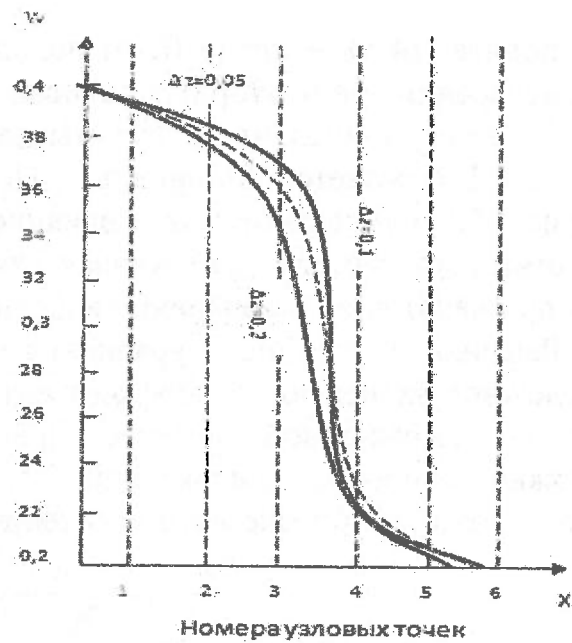


Рис.2. Распределение влажности вдоль колонки грунта на момент времени $t = 2,4$ ч при различных значениях Δx

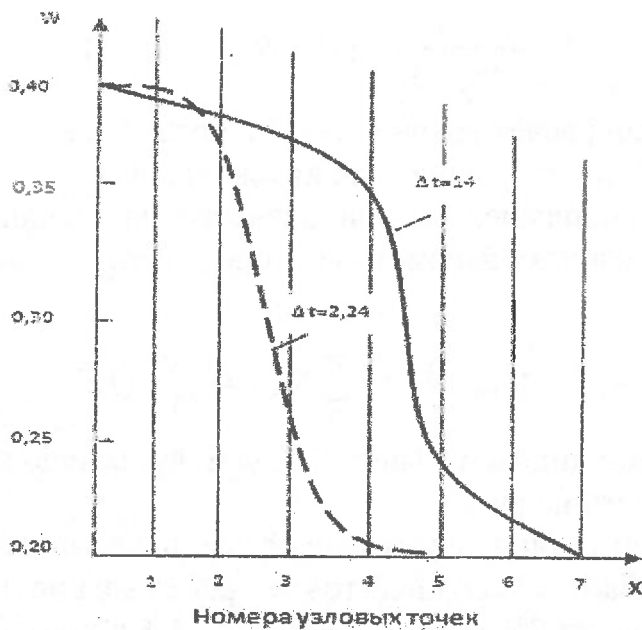


Рис.3. Распределение влажности вдоль колонки грунта при различных значениях Δt : 1 ч. и 2,4 ч.

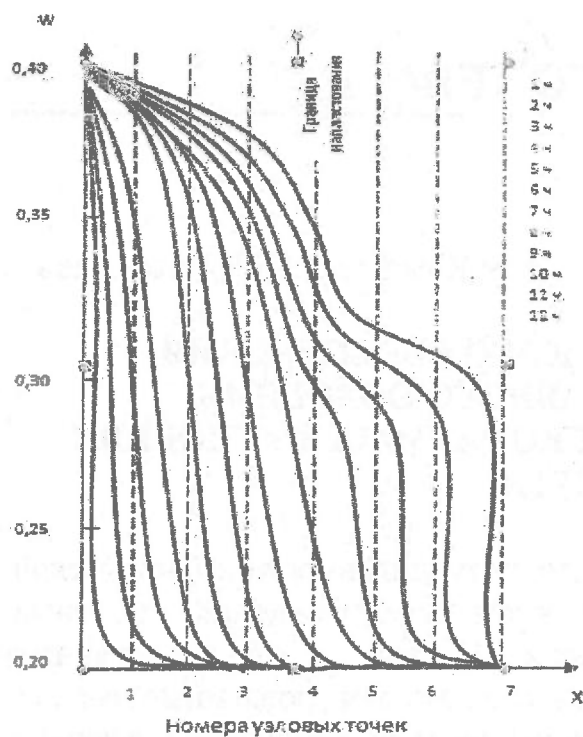


Рис.4. Распределение влажности вдоль колонки грунта при неоднородном его строении.

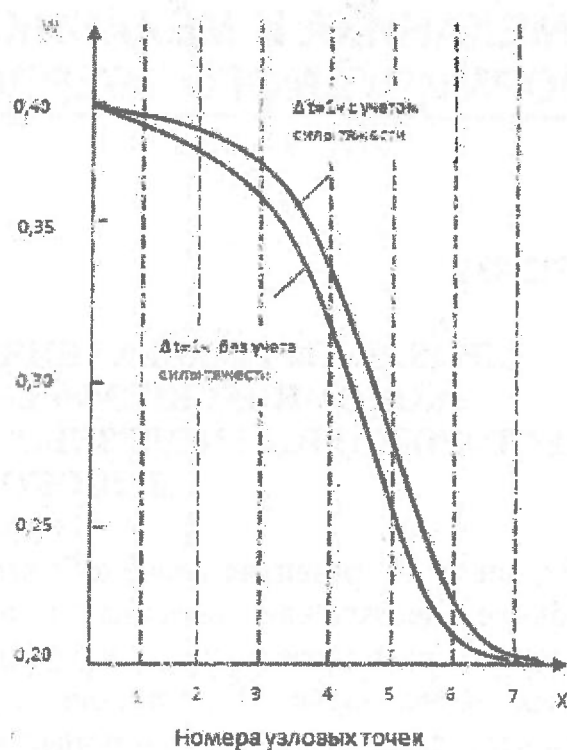


Рис.5. Распределение влажности вдоль колонки грунта с учетом и без учета гравитационного потенциала на момент времени $t = 14$ ч при $\Delta t = 1$ ч, $\Delta x = 0,1$ м.

Список литературы

1. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР.// Сб.: Орошаемое земледелие в Европейской части СССР, 1965.
2. Аверьянов С.Ф. Зависимость водопроницаемости почв от содержания в них воздуха // Доклады АН СССР, т.69, № 2, 1949.
3. Бондаренко Н.Ф., Нерпин С.В., Пакшина С.М. О переносе влаги к фронту испарения при сильно нестационарном процессе.// Сб.: Физика почв и приемы их обработки, вып. 14. – Л.: Колос, 1967.
4. Веригин Н.Н., Шержуков Б.С., Шапинская Г.П. К расчету промывания засоленных почв // Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып.35, 1967.
5. Полубаринова-Кочина П.Я., Эмих В.Н. Упрощенные схемы движения грунтовых вод при промывках// Динамика сплошной среды, вып. 2. – Новосибирск: Наука, 1969.

ГЕОМЕХАНИКА И МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 622:831

К.Ч.Кожогулов, Б.К.Кожогулов

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

Перспективы развития горнодобывающей промышленности в Кыргызской Республике неразрывно связаны с освоением месторождений полезных ископаемых, расположенных в климатически сложных и труднодоступных условиях высокогорья. В настоящее время открытые и подземные горные работы ведутся на таких высокогорных месторождениях, как Кумтор, Макмал, Джеруй и др. Эти месторождения расположены в сложных горно-геологических условиях и массивах со сложной, крайне неоднородной геологической структурой. Освоение таких месторождений обычно проводится в неоднородной, слабоизученной, постоянно меняющейся и потенциально опасной среде, какой является нетронутый массив горных пород. Такой массив обычно находится в состоянии неустойчивого равновесия, нарушение которого может неизбежно привести к серьезным авариям с тяжелыми последствиями. Эффективность и безопасность разработки таких месторождений, в первую очередь, зависит от правильности и эффективности геомеханического обеспечения горных работ.

В статье /1/ показано, что проводить работы по геомеханическому обеспечению целесообразно в такой последовательности: оценка нетронутого состояния массива горных пород, прогноз изменения этого состояния под влиянием природных и техногенных факторов, контроль процессов, происходящих в породных массивах, а также управление этими процессами. При этом условия высокогорья накладывают дополнительные проблемы при выполнении этих работ.

В первую очередь – это само нетронутое состояние массива горных пород, которое коренным образом отличается от нетронутого состояния породного массива в равнинных условиях. В условиях высокогорья оно всегда имеет сложное геологическое строение, структуру породных массивов, высокую трещиноватость и блочность, которые обуславливают анизотропию свойств горных пород. А условия залегания и наличие в массиве разломов, флексур и складчатости, как известно, формируют в массиве зоны концентрации напряжений, которые могут быть очагами будущих разрушений пород и

должны учитываться при проведении работ по их геомеханическому обеспечению /2/.

Во вторых, в условиях высокогорья породные массивы сложны горными породами, имеющими самые различные физико-механические свойствами: от слабых до пород, имеющих самую высокую прочность. Зачастую эти прочные породы являются потенциально удароопасными. При этом следует особо отметить, что они в настоящее время еще недостаточно изучены. Причем показатели физико-механических свойств пород зависят от генезиса пород и их литолого-петрографических свойств, которые в условиях высокогорья имеют свои особенности. При этом расположение высокогорных рудников в условиях вечной мерзлоты с присутствием ледников накладывает дополнительные условия к учету изменения прочностных свойств горных пород в зависимости от времени года. Летнее таяние ледников увеличивает напор подземных вод, раскрытие трещин, уменьшает сцепление между структурными слоями пород и увеличивает поровое давление на массив.

Третьей проблемой при выполнении работ по геомеханическому обеспечению экономически эффективной разработки месторождений полезных ископаемых является оценка напряженного состояния нетронутого массива горных пород. Это, прежде всего, обусловлено тем, что естественное напряженное состояние в породных массивах в условиях высокогорья является малоизученным. При этом для горноскладчатых областей, к которым и относятся высокогорные районы Кыргызстана, характерны высокие значения горизонтальности напряжений, в несколько раз превышающие вертикальные компоненты /3, 4/.

Следующей проблемой геомеханического обеспечения экономически эффективной разработки месторождений полезных ископаемых является контроль перераспределения напряженно-деформированного состояния нетронутого массива горных пород в процессе проведения открытых и подземных горных работ. Это необходимо для своевременного принятия профилактических и предотвращающих мер защиты от техногенных опасных явлений, вызванных разработкой месторождений.

Большинство высокогорных месторождений имеют сложную геологическую структуру, тектонические нарушения, прослойки ослабленных пород, значительное течение грунтовых и подземных вод. В этих условиях неоднородная геологическая структура и сложный рельеф местности значительно влияют на перераспределение энергии массовых взрывов, производимых при освоении данных месторождений. При этом увеличивается степень воздействия ударной волны, так как динамическая волна неоднократно отражается от неоднородных структур и повышает негативное воздействие на массив /5/. Взрывное разрушение горных пород является очень сложным геомеханическим процессом. Описать этот процесс, учесть все особенности распределения энергии взрыва, изучить разрушение различных материалов – достаточно сложная и к настоящему времени все еще нерешенная задача /6/, и

поэтому она является еще одной сложной проблемой при экономически эффективном освоении месторождений в условиях высокогорья.

Высокогорные месторождения, как правило, расположены в мобильных сейсмоопасных зонах. Следовательно, возникает проблема учета влияния природных и техногенных землетрясений на устойчивость открытых и подземных выработок при разработке месторождений полезных ископаемых. Поэтому экономически эффективная разработка месторождений в условиях высокогорья должна предусматривать возможное сейсмическое воздействие природного землетрясения, что, естественно, вызовет подорожание добычи полезного ископаемого и является еще одной сложной проблемой геомеханического обеспечения горных работ.

Сложный рельеф высокогорных месторождений, а также наличие мощных ледников усложняют добычу полезных ископаемых, вызывая дополнительные затраты. В этих условиях, прежде всего, на первый план выдвигаются проблемы расположения отвалов пустых пород в ограниченном пространстве или непосредственно на ледники. Специальные исследования, проведенные в данном направлении, позволили сделать вывод о возможности расположения отвалов на ледниках /7, 8/. Однако в этом случае обязательно необходима организация непрерывного мониторинга смещений, который должен постоянно контролировать смещение ледника и отвалов, что вызовет дополнительные экономические затраты при освоении того или иного высокогорного месторождения.

Таким образом, особенности высокогорья накладывают дополнительные проблемы при геомеханическом обеспечении горных работ, при экономически эффективном освоении этих месторождений, и успешное решение этих проблем является одним из основных аспектов значительного сокращения затрат на разработку таких месторождений.

Список литературы

1. Иофис М.А., Милетенко И.В. Состояние и совершенствование инженерно-технического обеспечения освоения недр // Научно-техническое обеспечение горного производства. Т.68. Часть 1. – Алматы, 2004. – С. 204-206.
2. Кожогулов К.Ч. Диагностика концентраторов напряжений в массивах пород горноскладчатых областей // Известия Национальной академии наук КР. – № 2/3. – Бишкек, 2003.
3. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч., Ялымов Н.Г., Ялымов Р.Н. Формирование полей напряжений в массиве пород горных районов // Научно-техническое обеспечение горного производства. Т.68. Часть 1. – Алматы, 2004.
4. Мамбетов Ш.А. Прогнозирование и контроль напряженно-деформированного состояния массива пород в высокогорных районах. – Фрунзе: Илим, 1987. – С. 246.
5. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1976.

6. Усманов С.Ф., Нифадьев В.И. Особенности разработки высокогорных месторождений // Вестник КРСУ – Бишкек, 2009. – № 4. – с.171-174.

7. Коваленко В.А., Воробьев А.Е., Усманов С.Ф., Чунуев И.К., Дуйшеналиев Ж. Оценка устойчивости отвалов высокогорного карьера Кумтор при отсыпке их на леднике // Горный журнал. – М., 2002. – № 1. – С.34-36.

8. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., Диких А.Н. Геомеханические проблемы отвалообразования на ледниках // Геомеханика в горном деле. – Екатеринбург, 2005.

УДК 622.012.3

К.К.Абдылдаев, Г.Д.Кабаева, К.Ч.Кожогулов

К ВОПРОСУ ГЕНЕРАЦИИ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Эффективность конечно-элементного моделирования геомеханических процессов существенно зависит от качества дискретной модели, позволяющей представить физическую область в виде расчетной сетки. Расчетная сетка определяет не только погрешность численного решения, но и такие важнейшие характеристики вычислительного процесса, как время счета и необходимый объем памяти вычислительной системы. Как известно, создание расчетных сеток является одним из трудоемких этапов решения задач математического моделирования и чревато высокой вероятностью внесения трудно обнаруживаемых ошибок /1-5/.

Моделирование задач геомеханики осложнено неоднородностью структуры массива, разнообразием моделей поведения и разрушения горных пород, зависимостью свойств пород от различных факторов. При решении двумерных задач геомеханики исследуемая область разбивается на мелкие треугольные элементы. Для решения трехмерных задач можно использовать тетраэдр, в котором для его 4 узлов следует выбрать порядок индексации узлов и построить конечно-элементную модель тела. Степень точности определяется количеством простых тетраэдральных элементов. Увеличение количества элементов приводит к увеличению числа уравнений, что повышает требования к вычислительным ресурсам вычислительной машины. К примеру, если трехмерная область требует сетку размерностью $120 \cdot 120 \cdot 120 = 1728000$ узловых точек, то общее число уравнений оказывается равным $1728000 \cdot 3 = 5184000$, так как должны быть определены три компоненты перемещений в каждой узловой точке. При таком увеличении размера сетки ее использование методом конечных элементов требует оптимизационных алгоритмов, повышая трудоемкость ее программной реализации. Кроме того, к сетке для метода конечных элементов предъявляется ряд особых требований: треугольники не должны быть сильно вытянутыми, так как наличие таких

треугольников отрицательно сказывается на точности результатов расчета. Во-вторых, должен быть учтен характер работы конструкции и ее геометрия, т.е. в местах концентрации напряжений сетка должна сгущаться /2-4/.

При программной реализации метода конечных элементов фактически создают три модуля /1, 5/:

1. Программный модуль, называемый *предпроцессор*, отвечающий за формирование конечно-элементной сетки, задание физико-механических свойств материалов, определение граничных условий.
2. Программный модуль, называемый *процессор*, отвечающий за формирование матрицы жесткости, решение системы уравнений, выполнение итерационного решения при выбранной среде.
3. Программный модуль, называемый *постпроцессор*, отвечающий за вывод результатов расчетов в графическом, наиболее информативном виде, построение поверхности обрушения, оценка устойчивости массива горных пород.

В настоящее время при создании программных систем широко практикуется использование с адаптацией для собственных программ открытых кодов свободно распространяемых пакетов в качестве внешних предпроцессоров, процессоров и постпроцессоров /4/. Они могут подключаться как библиотеки программных ресурсов. Наличие свободно распространяемых пакетов позволяет значительно сократить время разработки программ. В качестве предпроцессоров (генераторов расчетных сеток или мешеров) известны программные продукты: для построения двумерных сеток – Triangle, для построения двумерных и трехмерных сеток – GMSH, NETGEN, TETGEN и т.д. /6-8/. Например, пред/постпроцессор GMSH (рис. 1) предназначен для построения параметризованных твердотельных моделей, получения сеток, а также для визуализации результатов расчета. GMSH никаких расчетов не выполняет и может быть использован только в комплекте с другими программами – процессорами, такими, как Code-Aster, CCX/CalculiX, Impact, GETDP и т.д. Другой известной программой-мешером является NETGEN. Программа NETGEN поддерживает импорт STEP и IGES и позволяет сохранять сетку во многих специальных “сеточных” форматах. Другой известной программой, которую можно использовать вместе с GMSH, является CalculiX (рис. 2). Программа CalculiX – открытый, свободно распространяемый конечно-элементный пакет для моделирования нелинейностей, решения задач статики, динамики и т.д. /8/.

CalculiX состоит из двух модулей предпроцессора CalculiX GraphiX (CGX) – Preprocessor и постпроцессора CCX Postprocess. Каждый из этих модулей вызывается в командном окне. В строку ввода в окне CalculiX необходимо ввести команду, следуя правилам, отображаемым в окне. Например, при вводе команды: *cgx -b beam.fbd* появится окно графического препроцессора CGX, в котором выполняется построение объекта и создание расчетной схемы. Затем в командном окне вводится список команд для задания

параметров расчета с помощью постпроцессора CCX. На рис. 3 приведено окно с результатами расчетов.

К открыто распространяемым пакетам относится и программа (предпроцессор/процессор /постпроцессор) Impact , которая поддерживает импорт сетки из GMSH через форматы .msh и поверхностной сетки – через .stl. Этот пакет для функционирования требует загрузки виртуальной машины Java и 3D-библиотек графической системы Open GL. Имеет графический интерфейс, представленный на рис. 4, с редактируемой библиотекой свойств. Impact относится к классу программ для выполнения нелинейного динамического анализа, конечно-элементную модель в Impact можно решить в динамической постановке, задав только закон изменения действующих нагрузок, граничных условий и т.д. /9/.

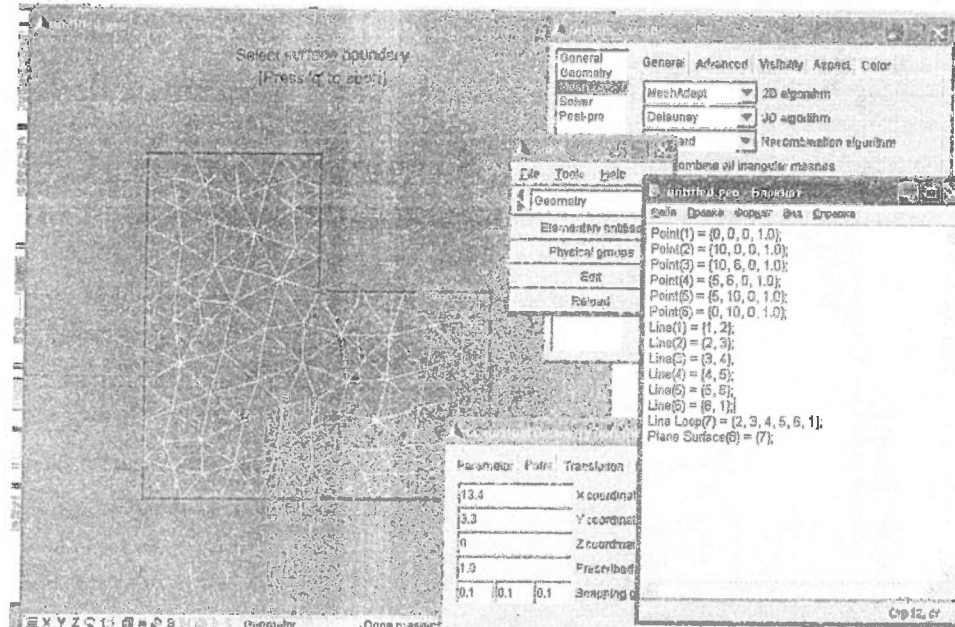


Рис.1. Рабочее окно генератора расчетной сетки GMSH

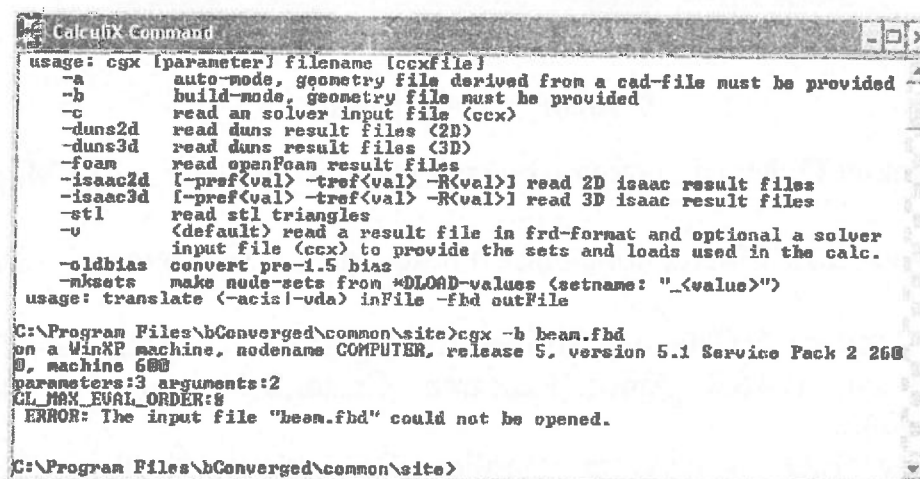


Рис.2. Командное окно программы Calculix

Таким образом, для повышения эффективности конечно-элементного моделирования геомеханических процессов вполне естественным является использование внешних генераторов для построения сеток, адаптирующихся к

собственной разработке программы вычисления напряжений, и вывод результатов.

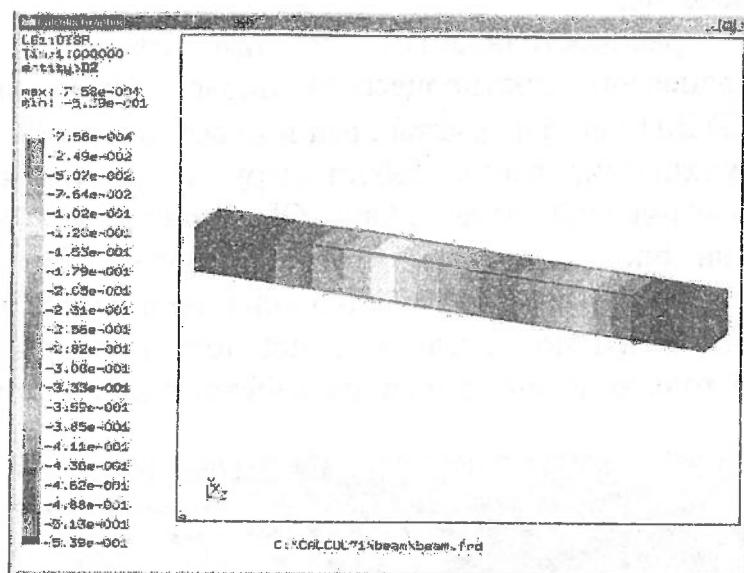


Рис. 3. Графическое представление результатов расчета в Calculix

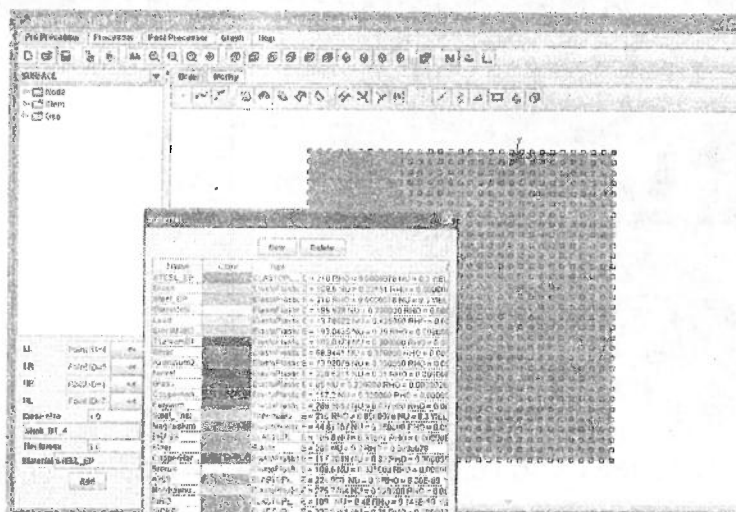


Рис. 4. Окно программы Impact

Список литературы

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 395 с.
2. Фадеев А.В. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 224 с.
3. Jim Ruppert: A Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimensional Mesh Generation, NASA Ames Research Center, Submission to Journal of Algorithms, 1994.
4. Ivanov E.G. Automatic Parallel Generation of Three-Dimensional Unstructured Grids for Computational Mechanics // Вычислительные технологии. – 2006. – Т.11. – № 1. – С. 3-17.

5. Усманов С.Ф. Прогнозирование устойчивости бортов высокогорных карьеров на основе моделирования напряженно-деформированного состояния. – Бишкек: КРСУ, 2009. – 172 с.

6. C. Geuzaine and J.-F. Remacle. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. International Journal for Numerical Methods in Engineering, Volume 79, Issue 11, pages 1309-1331, 2009.

7. <http://www.hpfem.jku.at/netgen/>

8. <http://www.calculix.de>

9. <http://impact.sourceforge.net/>

УДК 539.421.2

Р.Б.Баймахан, А.У.Султанбекова, А.К.Рысбаева,
Н.Курманбеккызы

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ТИП РАЗРУШЕНИЯ И ВЕЛИЧИНУ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ВДОЛЬ И ВКРЕСТ СЛОЕВ ПЛОСКОСТИ ИЗОТРОПИИ АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА

Под механизмом разрушения понимается, во-первых, вязкий или хрупкий тип разрушения, во-вторых, выявление закономерностей распространения трещин по слоям плоскости изотропии перпендикулярно к ним и в направлениях между ними.

Упругая энергия A_E , запасенная в породе в результате действия внешней нагрузки и необходимая для образования трещины, равна /1/

$$A_E = \frac{\pi}{E} l^2 \sigma^2. \quad (1)$$

Трещина будет расти, если

$$\frac{\partial A_E}{\partial l} > \frac{\partial A_S}{\partial l}. \quad (2)$$

Критическое состояние трещины характеризуется равенством

$$\frac{\partial A_E}{\partial l} = \frac{\partial A_S}{\partial l}.$$

Откуда

$$\sigma_{\text{разм}} = \sqrt{\frac{2Ee_s}{\pi l}}, \quad (3)$$

где E – модуль Юнга; l – длина трещины; $2e_s$ – удельная поверхностная энергия, затрачиваемая для образования двух поверхностей трещин по Гриффитсу.

Для изотропного массива имеются следующие критерии, определяющие характер разрушения /1/.

Величина удельной энергии, которая затрачивается для образования трещин, определяется выражением

$$e_s = \frac{1-\nu^2}{2E} K_{IC}^2. \quad (4)$$

где K_{IC} – критический коэффициент интенсивности напряжения, который определяется экспериментально для трещины определенной длины; ν – коэффициент Пуассона.

Длина распространения трещины вычисляется следующим выражением:

$$\ell = \frac{2Ee_s}{\pi(1-\nu^2)\sigma^2}. \quad (5)$$

Подставляя выражение (4) в (5), для критической длины трещины получаем

$$\ell_c = \frac{K_{IC}^2}{\pi\sigma_n^2}. \quad (6)$$

Это выражение определяют длину трещины в изотропной среде.

Раскрытие трещины в изотропной среде определяется выражением [2/

$$\delta = \frac{J}{m\sigma^T}, \quad (7)$$

где $m = \sqrt{3}$ – параметр, зависящий от пластического стеснения деформационного упрочнения;

$$J = \frac{1-\nu^2}{E^2} K_{IC}^2. \quad (8)$$

Подставляя выражение (8) в (7), окончательно получим формулу раскрытия трещины в виде

$$\delta_c = \frac{(1-\nu^2)K_{IC}^2}{m\sigma^T}. \quad (9)$$

По критерию Кулона

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (10)$$

$$m = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}}. \quad (11)$$

Если $m < \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}}$ – то хрупкое разрушение.

Если $m > \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}}$ – то вязкое разрушение.

Хрупкий или пластический тип разрушения определяется соотношением m между касательными и нормальными напряжениями, возникающими в породе.

Из теории упругости анизотропных сред [3/, 4/, 5/, 6/, 7/, 8/, многочисленных натурных, экспериментальных и измеренных данных, например, 5/, 6/ и из справочника (КАДАСТР) физических свойств горных пород [7/ известно, что по направлениям упругих свойств E_1 и E_2 будут

соответствовать свои анизотропные прочностные свойства: $\sigma_{\perp}^{сж}$, $\sigma_{\parallel}^{сж}$, $\sigma_{\perp}^{раст}$, $\sigma_{\parallel}^{раст}$, $\tau_{\perp}^{сж}$, $\tau_{\parallel}^{сж}$. Кроме того, экспериментальные данные показывают также, что в транстропном массиве возникает два различных коэффициента интенсивности напряжений: в направлениях вдоль слоев ($\parallel$) и перпендикулярно ($\perp$) слоям. Например, такие данные приводятся в работе Ю.В. Зайцева /8/ на стр. 63. «... горным породам, как правило, присуща сильная анизотропия свойств, и значение K_{IC} существенно зависит от направления развития трещины, причем минимальное значение K_{IC} и значение K_{IC} в перпендикулярной плоскости относятся примерно, как 1:4».

Значит, исходя из реальных механических процессов разрушения, происходящих в транстропном массиве, возможно констатировать существование $K_{\text{IC}}^{\parallel}$ и $K_{\text{IC}}^{\perp}$. Здесь верхние индексы " $\parallel$ " и " $\perp$ " показывают на направления вдоль и перпендикулярно к слоям плоскости изотропии.

Тогда, естественно, этим интенсивностям напряжений будут соответствовать различные выражения нахождения длины и ширины трещин, которые распространяются вдоль и перпендикулярно слоям. Обозначим длины через $l_{\text{C}}^{\parallel}$ и $l_{\text{C}}^{\perp}$, а ширины – через $\delta_{\text{C}}^{\parallel}$ и $\delta_{\text{C}}^{\perp}$.

Теперь известные критерии (3), (5), (6), (9), (11), полученные для изотропной среды, распространим для транстропного горного массива.

Для транстропного массива в случае распространения трещины вдоль слоев ($\parallel$) к плоскости изотропии выражение (11) запишем в следующем виде:

$$m^{\parallel} = \frac{\tau_{\text{max}}^{\parallel}}{\sigma_{\text{max}}^{\parallel}} \quad (12)$$

И для случая, когда трещина распространяется перпендикулярно к слоям ($\perp$) плоскости изотропии, получим

$$m^{\perp} = \frac{\tau_{\text{max}}^{\perp}}{\sigma_{\text{max}}^{\perp}}. \quad (13)$$

Растягивающее напряжение (3) для раскрытия трещины вдоль и перпендикулярно слоям имеет следующий вид:

$$\sigma_{\text{раст}}^{\parallel} = \sqrt{\frac{2E_1 e_s}{\pi l}}. \quad (14)$$

$$\sigma_{\text{раст}}^{\perp} = \sqrt{\frac{2E_2 e_s}{\pi l}}. \quad (15)$$

Если

$$m^{\parallel} < \frac{\Phi_{\text{сдв}}^{\parallel}}{Y_{\text{раст}}^{\parallel}}, \quad (16)$$

то происходит хрупкое разрушение вдоль слоев плоскости изотропии транстропного массива.

$$\text{При } m^{\perp} < \frac{\Phi_{\text{сдв}}^{\perp}}{Y_{\text{раст}}^{\perp}} \quad (17)$$

разрушение происходит перпендикулярно к слоям плоскости изотропии.

$$\text{Если } m^{\parallel} > \frac{\Phi_{\text{сдв}}^{\parallel}}{y_{\text{раст}}^{\parallel}}, \quad (18)$$

то происходит вязкое разрушение вдоль слоев плоскости изотропии транстропного массива.

$$\text{При } m^{\perp} > \frac{\Phi_{\text{сдв}}^{\perp}}{y_{\text{раст}}^{\perp}}, \quad (19)$$

вязкое разрушение происходит перпендикулярно к слоям плоскости изотропии.

Для вычисления длины трещин, распространяющихся вдоль и перпендикулярно слоям в транстропной среде, выражение (6) представим в виде

$$\ell_c^{\perp} = \frac{K_{\text{IC}}^{\perp}}{\pi \sigma_n^2}, \quad (20)$$

$$\ell_c^{\parallel} = \frac{K_{\text{IC}}^{\parallel}}{\pi \sigma_t^2}. \quad (21)$$

Для трещин, распространяющихся вдоль и перпендикулярно к слоям в анизотропной среде, выражение (9) представим в виде

$$\delta_c^{\perp} = \frac{(1-\nu^2)(K_{\text{IC}}^{\perp})^2}{m \sigma_n} \quad (22)$$

$$\delta_c^{\parallel} = \frac{(1-\nu^2)(K_{\text{IC}}^{\parallel})^2}{m \sigma_t} \quad (23)$$

Список литературы

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
2. Сиратори М., Миеси Т., Мацусита Х. Вычислительная механика разрушения. – М.: Мир, 1986. – 334 с.
3. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 415 с.
4. Батугин С.А. Анизотропия массива горных пород. – Новосибирск: Наука, 1988. – 86 с.
5. Витке В. Механика скальных пород. – М.: Недра, 1990. – 440 с.
6. Шрейнер Л.А., Байдюк Б.В., Павлова Н. Н. и др. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. – М.: Недра, 1968. – 358 с.
7. Справочник (КАДАСТР) физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1975. – 279 с.
8. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ОТ УГЛА ЗАКРУЧИВАНИЯ ПРИ КРУЧЕНИИ ПРЯМОГО ВАЛА С УЧЕТОМ ЛИНЕЙНОГО УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Рассмотрим процесс кручения прямого вала круглого поперечного сечения радиуса R . Будем считать, что диаграмма сдвига материала вала известна и определена функцией $\tau = \tau(\gamma)$. Поставим задачу определения зависимости крутящего момента (M) от относительного угла закручивания (θ) вплоть до достижения нагрузки ее предельного значения. Данная задача, в общей постановке, была решена Л. Прандтлем и приведена в книге А. Надаи [1]. В этой работе получено, что при данном θ крутящий момент равен произведению момента инерции площади, ограниченной кривой $\tau = \tau(\gamma)$ относительно оси τ , на $2\pi/\theta^3$, при этом абсцисса площади кривой $\tau(\gamma)$ доходит до величины $\gamma_R = \theta \cdot R$.

Очевидно, что вид зависимости $M(\theta)$ зависит от характера диаграммы сдвига $\tau(\gamma)$. В данной работе аналитически исследуется вид функции $M(\theta)$ для случая, когда диаграмма сдвига аппроксимируется трехзвенной ломаной линией с линейным упрочнением (рис. 1). На этом рисунке τ_T — предел текучести; τ_K — конечная (максимальная) ордината диаграммы $\tau(\gamma)$; γ_T и γ_K — сдвиги соответствующие этим напряжениям; $\operatorname{tg} \alpha = G$ — модуль сдвига;

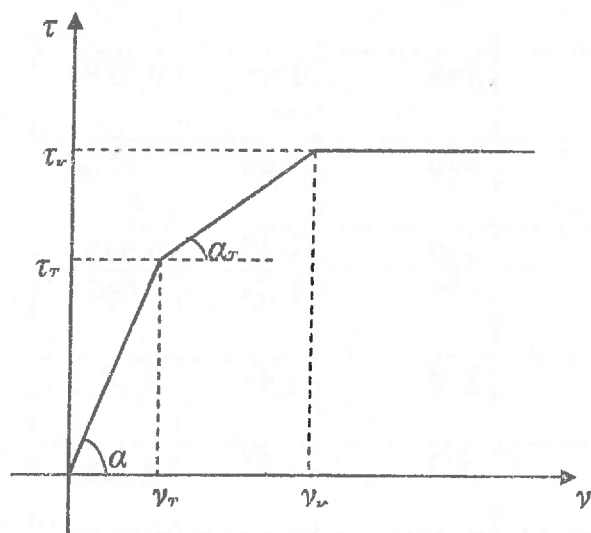


Рис.1

$\operatorname{tg} \alpha_T = G_T$ — модуль упрочнения. В дальнейшем будем принимать: $\frac{G_T}{G} = n$, где $0 \leq n \leq 1$ — параметр

упрочнения; $\frac{\tau_K}{\tau_T} = k > 1$ — параметр

прочности материала. При такой аппроксимации диаграммы сдвига вал в своей работе, до достижения значения предельного момента, работает последовательно в упругой области, в упруго-пластической области с упрочнением, затем в упруго-неупругой стадии, включающей зону текучести.

Для многих технических расчетов на прочность и жесткость, проводимых за пределом упругих деформаций, такая аппроксимация

действительных диаграмм сдвига правомочно по двум причинам: первое, они имеют простые математические выражения, и второе, эти диаграммы хорошо совпадают с экспериментально полученными диаграммами. В качестве примера приведем таблицу из работы [2], где приведены параметры схематизированной диаграммы растяжения с линейным упрочнением для некоторых материалов.

Таблица 1

Материал	Термообработка	$\sigma_s, \text{МПа}$	$\sigma_T, \text{МПа}$	σ_s / σ_T	$\frac{E_T}{E}$
Сталь 40 X	Отжиг	700	428	1,63	0,069
	Закалка, отпуск 500 °С	1200	1144	1,05	0,022
	Закалка, отпуск 600 °С	1000	858	1,16	0,028
Сталь 40 XНМ	Закалка отпуск 560 °С	1100	992	1,11	0,0285
Сталь 30 ХГС	Закалка, 330 °С	1600	965	1,66	0,224
	Закалка, отпуск 500 °С	1200	1113	1,07	0,035
	Закалка, отпуск 600 °С	1000	876	1,14	0,018
Сталь 18Х2Н4МА	Закалка, отпуск 525 °С	1150	985	1,16	0,0545
	Закалка 950 °С, закалка 850 °С, отпуск 150 °С	1320	685	1,92	0,311
Сталь Я1Т	Закалка 1050 °С	620	220	2,81	0,117
Сталь ЭИ 257	-	300	205	1,46	0,131
Сталь ЭИ 503	-	1050	798	1,31	0,104
Сталь 15Х18Н12С4ТЮ	Закалка 950 °С	800	304	2,63	0,327
Сталь ЭИ 659	Нормализация, отпуск 500 °С	1300	720	1,80	0,226
Сплав В95	Закалка+искусст. старение	640	588	1,08	0,0285
Сплав В95Т	Закалка+искусст. старение	600	556	1,08	0,0353
Сплав ВТ1	Отжиг 700 °С	600	429	1,39	0,079
Сплав Д16	Закалка+естест. старение	520	318	1,63	0,0625
Сплав Д16Т	Закалка+естест. старение	530	374	1,41	0,0445
Сплав АК4	Закалка+естест. старение	380	222	1,71	0,126

Принимая одинаковым коэффициент Пуассона в упругой и неупругой области деформирования, используя данную таблицу, можно получить некоторые параметры, характеризующие диаграмму сдвига рассматриваемых материалов. Тогда

$$\frac{E_T}{E} = \frac{G_T}{G} = n, \quad \frac{\sigma_a}{\sigma_T} = \frac{\tau_K}{\tau_T} = k.$$

В данном случае $0,018 \leq n \leq 0,327$, $1,05 \leq k \leq 2,81$.

А. Упругая работа вала.

В этом случае

$$\tau_{\max} \leq \tau_T. \quad (1)$$

Касательные напряжения и сдвиги определяются следующими формулами:

$$\tau = G\theta r, \quad \gamma = \theta r. \quad (2)$$

Здесь r — радиус вектор рассматриваемой точки поперечного сечения. Связь между крутящим моментом (M) и углом закручивания (θ) дается выражением

$$M = \theta \cdot G \cdot J_p. \quad (3)$$

Здесь J_p — полярный момент инерции сечения.

Значение угла закручивания, при котором максимальные касательные напряжения достигнут величины τ_T , обозначим через θ_T .

Очевидно, оно равно

$$\theta_T = \frac{\tau_T}{GR}. \quad (4)$$

Значение крутящего момента, соответствующее этому углу, обозначим через M_T . Очевидно, оно будет равно

$$M = \tau_T W_p, \quad (5)$$

где W_p — момент сопротивления сечения.

Используя формулы (3)–(5), получаем зависимость момента от угла закручивания в упругой области деформирования в следующем виде:

$$\frac{M}{M_T} = \frac{\theta}{\theta_T}. \quad (\theta > 0). \quad (6)$$

Б. Неупругая работа вала (участок упрочнения).

В этом случае распределение касательного напряжения в поперечном сечении вала подчиняется следующим зависимостям:

$$\begin{aligned} \tau_y &= G \cdot \theta \cdot r, & \text{при } r \leq r_T \\ \tau_u &= \tau_T + nG(\gamma - \gamma_T), & \text{при } r > r_T. \end{aligned} \quad (7)$$

В этих формулах угол закручивания, $\theta \geq \theta_T$.

Здесь r_T — радиус границы, разделяющий упругую и пластическую области.

Введем безразмерный радиус

$$\rho = \frac{r_T}{R}. \quad (8)$$

Учитывая, что $\gamma_T = \theta_T \cdot R$ и $\gamma_T = \theta \cdot r_T$, можно получить следующее соотношение:

$$\frac{\theta_T}{\theta} = \rho. \quad (9)$$

Теперь подсчитаем крутящий момент, действующий в сечении вала. Очевидно, он будет равен

$$M = \int_{F_{\text{ин}}} \tau_y \cdot r \cdot dF + \int_{F_n} \tau_n r dF.$$

Подставляя значения напряжений из формулы (7) и интегрируя, получаем

$$M = G\theta \cdot J_p \left[\frac{\rho}{3}(4 - \rho^3) + n \left(1 - \frac{4}{3}\rho + \frac{1}{3}\rho^4 \right) \right].$$

Введем обозначение

$$D(\rho) = \frac{\rho}{3}(4 - \rho^3) + n \left(1 - \frac{4}{3}\rho + \frac{1}{3}\rho^4 \right). \quad (10)$$

Последнюю формулу перепишем в виде

$$M = G\theta \cdot J_p D(\rho). \quad (11)$$

Приведем данную формулу к безразмерному виду, тогда

$$\frac{M}{M_T} = \frac{\theta}{\theta_T} \cdot D(\rho). \quad (\theta > \theta_T) \quad (12)$$

В. Неупругая работа (участок текучести).

Формула (12), очевидно, работает до достижения максимального касательного напряжения значения τ_K , т.е. $\tau_{\text{max}} \leq \tau_K$. При этом угол закручивания θ не должен превышать значения угла θ_K , при котором максимальные напряжения будут равны τ_K . Используя диаграмму сдвига, найдем связь между θ_K и θ_T в виде

$$\frac{\theta_K}{\theta_T} = \frac{k-1}{n} + 1 = x. \quad (13)$$

Введем безразмерный параметр $\rho_K = \frac{r_K}{R}$. Здесь r_K — радиус границы, разделяющий область упрочнения от зоны текучести. Для него можно получить следующее соотношение

$$\frac{\rho_K}{\rho_T} = \frac{\theta_K}{\theta_T}. \quad (14)$$

Теперь подсчитаем крутящий момент для случая, когда $\theta > \theta_K$, в этом случае можем записать

$$M = \int_{F_y} \tau_y r \cdot dF + \int_{F_n} \tau_n r \cdot dF + \int_{F_T} \tau_K r \cdot dF. \quad (15)$$

Расписывая интегралы в формуле (15) и приведя их к безразмерному виду, получаем:

$$\frac{M}{M_T} = \frac{\theta}{\theta_T} \cdot D_I(\rho_T, \rho_K), \quad (\theta > \theta_K), \quad (16)$$

где

$$D_I(\rho_T, \rho_K) = \rho_T^4 \left[1 - \frac{4}{3}(1-n)(1-x^3) - n(1-x^4) \right] + \frac{4}{3}\rho_T(1-\rho_K^3)[1-n(1-x)]. \quad (17)$$

Таким образом, получены формулы, определяющие зависимость $M \sim \theta$ в безразмерном виде:

1. Для упругого участка работы вала

$$\frac{M}{M_T} = \frac{\theta}{\theta_T} \quad (\theta \leq \theta \leq \theta_T).$$

2. Для неупругого участка с упрочнением

$$\frac{M}{M_T} = \frac{\theta}{\theta_T} \cdot D(\rho) \quad \begin{matrix} (\theta_T \leq \theta \leq \theta_k) \\ (1 < \rho < \rho_T) \end{matrix}$$

3. Для неупругого участка с учетом текучести

$$\frac{M}{M_T} = \frac{\theta}{\theta_T} \cdot D_1(\rho_T, \rho_k), \quad \begin{matrix} \theta_k \leq \theta \leq \infty \\ 1 < \rho_k < 0 \end{matrix}$$

На первом и втором этапе работы вала расчёты проводятся по формулам (6) и (12), и они очевидны. Приведем алгоритм построения зависимости $\frac{M}{M_T} \sim \frac{\theta}{\theta_T}$ для третьего этапа работы вала.

1. Задаемся характеристиками прочности и упрочнения вала, т.е. k и n .

2. По формуле (13) находим величину x , затем отношение $\frac{\theta_k}{\theta_T} = x$.

3. Задаемся величиной $\frac{\theta}{\theta_T} = m > x$.

4. Находим $\rho_k = \frac{x}{m}$ и $\rho_T = \frac{1}{m}$.

5. Затем определяем $D_1(\rho_T, \rho_k)$ по формуле (17).

6. Вычисляем $\frac{M}{M_T}$ по формуле (16).

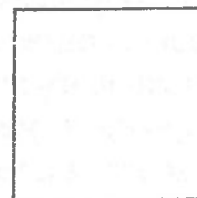
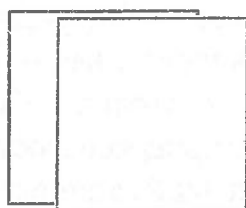


Рис.2

На рис. 2 приведены результаты расчетов в безразмерном виде для параметров материала $k=1,4$ и $n=0,1$.

В заключение данной работы найдем величину предельного момента для данного вала. При $\theta \rightarrow \infty$ правая часть формулы (16) стремится к величине $4\kappa/3$. Следовательно,

$$M_{np} = \frac{4}{3}\kappa \cdot M_T.$$

Для $\kappa=1$ получаем классический «прандтлевский» результат:
 $M_{np} = 1,33M_T$.

Список литературы

1. Надаи А. Пластичность /ОНТИ НКТП СССР. – М., 1936. – С. 280.
2. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 399.

УДК 669.2.8

М.К.Инкарбеков, М.С.Тунгатарова, А.Калтаев

ПРИМЕНЕНИЕ CUDA-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОТЕХНОЛОГИИ

В данной работе рассмотрен метод интенсификации процесса добычи минерала подземного выщелачивания управлением фильтрационными токами раствора в пласте. Метод подземного выщелачивания (ПВ) является весьма эффективной и экономичной технологией добычи твердых полезных ископаемых, и эффективность добычи во многом зависит от фильтрационных токов.

Казахстан обладает 15-20-тью процентами мировых запасов урана и является мировым лидером по добыче урана с 2009 года. Все урановые месторождения разрабатываются методом подземного выщелачивания (ПВ), при этом методы расчета расположения скважин, методы контроля добычи и прогнозирования протекающих в пластах массообменных процессов остались прежними, инженерными и характеризуются крайне низкой точностью и эффективностью. Поэтому разработка современных эффективных методов прогнозирования ресурсоемких задач с использованием высокопроизводительных вычислительных систем для проектирования схемы геотехнологического полигона и определения оптимальных режимных параметров месторождения является актуальной задачей информационных технологии и геотехнологии /1, 2/.

Рассматриваемый процесс является ресурсоемким, так как требует огромного количества вычислений, связанных с трехмерностью процесса, неоднородностью и анизотропностью пласта. Ввиду большого объема вычислений при решении подобных задач разработанные методы будут адаптированы на применение высокопроизводительных вычислительных

систем, в частности, будут использованы возможности GPU с применением технологии CUDA – технология GPGPU, позволяющей реализовывать на C алгоритмы, выполнимые на графических процессорах ускорителей GeForce.

Использование GPU позволяет быстрое исполнение большого числа параллельно выполняемых потоков инструкций. При использовании GPU отпадает необходимость использования кэш-памяти большого размера. Эффективным использованием мощи GPU в неграфических расчетах является распараллеливание алгоритмов на сотни исполнительных блоков, имеющих в видеочипах.

CUDA использует большое число отдельных нитей для вычислений, часто каждому вычисляемому элементу соответствует одна нить /3/. Все нити группируются в иерархию – grid/block/thread.

Верхний уровень – grid – соответствует ядру и объединяет все нити, выполняющие данное ядро. grid представляет собой одномерный или двумерный массив блоков (block). Каждый блок (block) представляет собой одно/двух/трехмерный массив нитей (threads).

При этом каждый блок представляет собой полностью независимый набор взаимодействующих между собой нитей, нити из разных блоков не могут между собой взаимодействовать.

Процесс добычи минерала методом ПВ описывается трехмерными уравнениями для гидродинамического напора, законом Дарси для скорости фильтрации /4/.

Уравнение для гидродинамического напора решается итерационным методом Якоби, который хорошо распараллеливается за счет того, что состоит из простейших арифметических операций умножения матрицы на вектор. Вектор-результат x_i^{k+1} можно разбить на отдельные подвекторы одинакового размера. Нахождение каждого такого подвектора может происходить абсолютно независимо от нахождения остальных подвекторов. Нахождение такого подвектора – задача отдельного блока, внутри блока каждому элементу подвектора соответствует отдельная нить.

При этом нити внутри блока могут взаимодействовать между собой (т.е. совместно решать подзадачу) через общую память (shared memory) – функцию синхронизации всех нитей блока (_synchronize). Физически общая память – это аналог глобальной памяти – и работает с той же скоростью.

В результате использования shared-памяти можно поднять быстродействие более чем на порядок.

Список литературы

1. Добыча урана методом подземного выщелачивания / Под ред. В.А. Мамилова. – М.: Атомиздат, 1980. – 248 с.

2. Белецкий, В.И., Богатков, Л.К., Волков, Н.И. и др. Справочник по геотехнологии урана / Под. ред. Д.И. Скороварова. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 672 с.

3. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2010. – С. 232

4. Баренблатт, Г.И., Ентов, В.И., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. – М.: Недра, 1984. – 288 с.

УДК 669.2.8+539.2.6

Я.И.Рудаев, С.М.Сулайманова

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПРЕССОВАНИЯ КРУГОВОГО ПРУТКА В РЕЖИМАХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

Рассматривается задача определения скоростей перемещений и деформаций в процессе прямого прессования алюминиевого прутка круглого сечения в термическом режиме сверхпластичности. Решение ищется в предположении, что в очаге пластической деформации имеет место радиальное течение в коническом сходящемся канале.

Введение

Рассмотрим задачу управления технологическим процессом прямого прессования прутка круглого поперечного сечения в конической матрице. Полагаем, что операция реализуется в изотермических условиях в температурном диапазоне сверхпластичности /1/.

Установлено /1, 2/, что, кроме температуры, определяющим сверхпластичность фактором является поле скоростей деформаций. На основании анализа и определения скоростных параметров решением, по существу, обратной задачи устанавливаются энергосиловые и кинематические характеристики процесса. Так, сформулированная проблема сводится к постановке и решению краевой задачи, на основании которых строится оптимизационная задача. При этом конечной целью исследования является выработка технологической стратегии изготовления прутка с качественной ультрамелкозернистой структурой. Последнее вполне достижимо, если учесть, что каждой температуре из сверхпластического диапазона ставится в соответствие определенный интервал скоростей деформации. Именно в таких условиях происходит формирование мелкого зерна. Поскольку исходным материалом являются алюминиевые сплавы без предварительной подготовки структуры, то образование ультрамелкого зерна связано со структурным фазовым переходом – динамической рекристаллизацией /3/.

Укажем также, что установленная на основании сказанного зона сверхпластичности занимает часть очага пластической деформации.

Решение предлагаемой задачи, реализованное в /4/, требует определенного уточнения при анализе поле скоростей перемещений и деформаций.

1. Постановка задачи

Считаем, что металл, находящийся в контейнере радиуса R_0 (рис. 1), под действием силы F подается в конической формы матрицу со скоростью v_0 . Справедливо полагаем, что течение материала в матрице радиальное /4/.

Введем сферическую систему координат r, α, φ и запишем исходную систему уравнений. Дифференциальные уравнения равновесия представимы /4/ в форме

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{r\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{1}{\rho} [2\sigma_r - (\sigma_\alpha + \sigma_\varphi) + \tau_{r\alpha} \operatorname{ctg} \alpha] &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{r\alpha}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_\alpha}{\partial \alpha} + \frac{1}{\rho} [3\tau_{r\alpha} + (\sigma_\alpha - \sigma_\varphi) \operatorname{ctg} \alpha] &= 0. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Здесь компоненты напряжений σ_{ij} отнесены к внутреннему параметру состояния σ^* ; $\rho = r/R_0$.

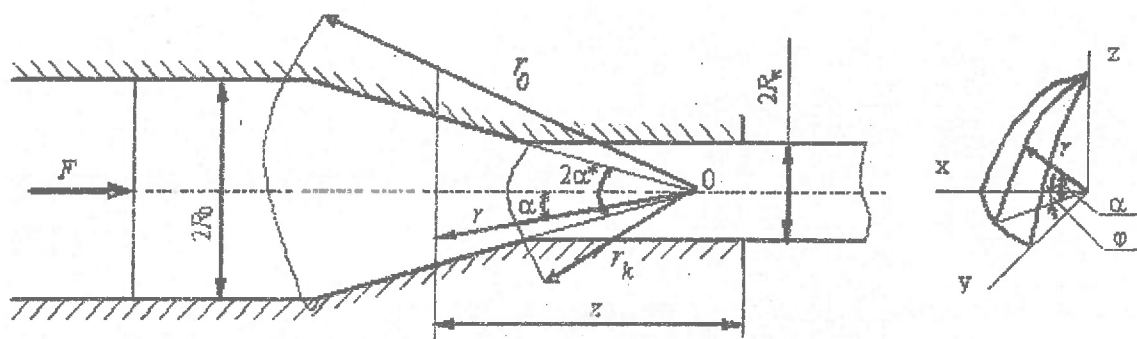


Рис. 1. Схема прессования круглого прутка

Составляющие скоростей перемещений и деформаций связаны соотношениями

$$\dot{\epsilon}_r = \frac{\partial v_r}{\partial \rho}; \quad \dot{\epsilon}_\varphi = \dot{\epsilon}_\alpha = \frac{v_r}{\rho}; \quad \dot{\gamma}_{r\alpha} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial v_r}{\partial \alpha}; \quad (1.2)$$

компоненты вектора скорости радиального перемещения v_r приняты поделенными на величину $\dot{\epsilon}^* R_0$, а составляющие $\dot{\epsilon}_{ij}$ тензора скоростей деформаций — $k\dot{\epsilon}^*$, где $\dot{\epsilon}^*$ — внутренний параметр состояния, альтернативный σ^* /1/.

Условие несжимаемости материала в скоростях запишется так:

$$\dot{\epsilon}_r + \dot{\epsilon}_\alpha + \dot{\epsilon}_\varphi = 0. \quad (1.3)$$

Определяющие соотношения представляются в виде уравнений теории упругопластических процессов малой кривизны /5/

$$\sigma_r - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\epsilon}_r; \quad \sigma_\alpha - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\epsilon}_\alpha; \quad \sigma_\varphi - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\epsilon}_\varphi;$$

$$\tau_{\rho\alpha} = \frac{\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\gamma}_{\rho\alpha}; \quad 3\sigma_0 = \sigma_\rho + \sigma_\alpha + \sigma_\varphi; \quad (1.4)$$

причем $\sigma_u, \dot{\epsilon}_u$ — соответственно интенсивности напряжений и скоростей деформаций, отнесенные к параметрам состояния $\sigma^*, \dot{\epsilon}^*$.

Уравнение состояния, следуя [1], будет иметь вид

$$\sigma_u = 1 - m_0 - \beta + (3m_0 + \beta)\dot{\epsilon}_u - 3m_0\dot{\epsilon}_u^2 + m_0\dot{\epsilon}_u^3, \quad (1.5)$$

где $\beta = \beta(\xi)$ — управляющий параметр, ξ — приведенная температура, m_0 — постоянная материала.

Отметим, что при сверхпластичности $\beta < 0$, а в изотермическом режиме $\beta, \sigma^*, \dot{\epsilon}^*$ становятся постоянными параметрами. Граничные условия будем формулировать в процессе решения задачи.

2. Скорости перемещений и деформаций

Совместное рассмотрение условий несжимаемости с функциями скоростей деформаций (1.2) приводит к установлению величины скорости радиального перемещения

$$v_\rho = -\frac{K(\alpha)}{\rho^2}, \quad (2.1)$$

где $K = K(\alpha)$ — неизвестная пока функция угла α .

С учетом (2.1) для составляющих скоростей деформаций можно получить

$$\dot{\epsilon}_\rho = \frac{2K(\alpha)}{\rho^3}; \quad \dot{\epsilon}_\alpha = \dot{\epsilon}_\varphi = -\frac{K(\alpha)}{\rho^3}; \quad \dot{\gamma}_{\rho\alpha} = -\frac{K'(\alpha)}{\rho^3}. \quad (2.2)$$

Соотношения (1.4), (1.5) переписутся так

$$\sigma_\rho = \sigma_0 + \frac{4}{3}T(\alpha, \rho)K(\alpha); \quad \sigma_\alpha = \sigma_\varphi = \sigma_0 - \frac{2}{3}T(\alpha, \rho)K(\alpha);$$

$$\tau_{\rho\alpha} = -\frac{1}{3}T(\alpha, \rho)K'(\alpha); \quad 3\sigma_0 = \sigma_\rho + \sigma_\alpha + \sigma_\varphi; \quad (2.3)$$

$$T(\alpha, \rho) = (1 - m_0 - \beta)L^{-1/2} + \frac{3m_0 + \beta}{\rho^3} - \frac{3m_0L^{1/2}}{\rho^6} + \frac{m_0L}{\rho^9}, \quad (2.4)$$

где положено

$$L = L(\alpha) = \frac{1}{3}[12K^2(\alpha) + K'^2(\alpha)] \quad (2.5)$$

Очевидно, что компоненты тензоров напряжений и скоростей деформаций, вектора скорости перемещения, как видно из (2.1)...(2.5), будут определены, если найдено выражение для $K = K(\alpha)$.

С привлечением дифференциальных уравнений равновесия (1.1) и соотношений (2.1)...(2.5) записано [4] нелинейное дифференциальное уравнение, интегрирование которого при соответствующих граничных условиях позволяет получить явное выражение для разрешающей функции

$$K(\alpha) = \frac{C_1}{2}(\sin^2 \alpha + \psi), \quad (2.6)$$

где

$$\psi = \psi(\alpha^*, \chi) = \frac{1}{3\chi} (1 - \chi^2)^{1/2} \sin 2\alpha^* - \sin^2 \alpha^*, \quad (2.7)$$

причем α^* - угол наклона матрицы (рис.1), χ - коэффициент пропорциональности между интенсивностью сил трения на контакте поверхности матрицы и максимальным касательным напряжением.

Заметим, что неизвестной остается постоянная интегрирования C_1 , которую установим исследованием полей скоростей перемещений и деформаций.

Полагаем, что очаг деформации представляется объемом, ограниченным двумя поверхностями разрыва скоростей ρ_0, ρ_k и конической поверхностью матрицы (рис. 2). Для вычисления постоянной C_1 запишем выражение для секундного объема материала

$$W_c = \iint_A v_\rho dA, \quad (2.8)$$

где A - площадь поверхности вращения в сечении при произвольном $\rho \in]\rho_k, \rho_0[$.

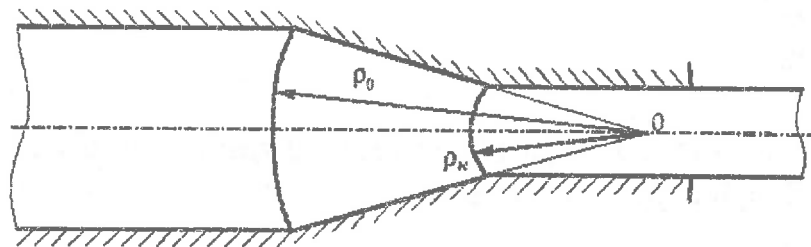


Рис. 2. Схема выбора очага деформации

Учитывая, что в сферических координатах $dA = \rho^2 \cos \alpha d\alpha d\varphi$, вместо (2.8) получим

$$W_c = 2 \int_0^\pi d\varphi \int_0^{\alpha^*} v_\rho \rho^2 \cos \alpha d\alpha. \quad (2.9)$$

Считаем объем (2.9) проходящим через поверхность разрыва скоростей $\rho_0 = \rho_0(\alpha)$. Иными словами,

$$W_c = 2\pi \int_0^{\alpha^*} v_\rho \Big|_{\rho=\rho_0} \rho_0^2 \cos \alpha d\alpha. \quad (2.10)$$

Подставляя в (2.10) выражение (2.1) при $\rho = \rho_0$, будем иметь

$$W_c = -2\pi \int_0^{\alpha^*} K(\alpha) \cos \alpha d\alpha. \quad (2.11)$$

Внесем в (2.11) зависимость (2.6). Воспользовавшись теперь теоремой о среднем, можем записать

$$\pi C_1 \int_0^{\alpha^*} (\sin^2 \alpha + \psi) \cos \alpha d\alpha = v_0 (1 - \cos \alpha^*). \quad (2.12)$$

После вычисления интеграла (2.12) для определения величины C_1 получим формулу

$$C_1 = \frac{3\nu_0}{\bar{\psi}}, \quad (2.13)$$

где

$$\bar{\psi} = \frac{\pi \sin \alpha^*}{1 - \cos \alpha^*} (3\psi + \sin^2 \alpha^*) = \frac{2\pi \sin^2 \alpha^*}{1 - \cos \alpha^*} \left(\frac{\sqrt{1 - \chi^2}}{\chi} \cos \alpha^* - \sin \alpha^* \right). \quad (2.14)$$

Принимая во внимание в [4] уравнения для поверхностей разрыва скоростей ρ_0, ρ_k , а также значение C_1 (2.13), будем иметь

$$\begin{aligned} \rho_0 &= \frac{[2 + 3\psi - 3(1 + \psi) \cos \alpha + \cos^3 \alpha]^{1/2}}{\sin \alpha}; \\ \rho_k &= \frac{[2 + 3\psi - 3(1 + \psi) \cos \alpha + \cos^3 \alpha]^{1/2}}{L \sin \alpha}; \end{aligned} \quad (2.15)$$

где

$$L = \frac{\rho_0}{\rho_k} = \left(\frac{\nu_k}{\nu_0} \right)^{1/2}. \quad (2.16)$$

Теперь в окончательном виде выражение для нахождения разрешающей функции $K(\alpha)$ (2.6) запишется в форме

$$K(\alpha) = \frac{3\nu_0}{2\bar{\psi}} (\sin^2 \alpha + \psi) \quad (2.17)$$

Составляющие скоростей перемещений и деформаций будут равны

$$\begin{aligned} \nu_\rho &= -\frac{3\nu_0}{2\rho^2\bar{\psi}} (\sin^2 \alpha + \psi); \quad \dot{\epsilon}_\rho = -\frac{3\nu_0}{\rho^3\bar{\psi}} (\sin^2 \alpha + \psi); \\ \dot{\epsilon}_\alpha &= \dot{\epsilon}_\varphi = -\frac{3\nu_0}{2\rho^3\bar{\psi}} (\sin^2 \alpha + \psi); \quad \dot{\gamma}_{\rho\alpha} = -\frac{3\nu_0}{4\rho^3\bar{\psi}} \sin 2\alpha, \end{aligned} \quad (2.18)$$

причем для $\psi = \psi(\alpha^*, \chi)$, $\bar{\psi}(\alpha^*, \chi)$ получены соответственно формулы (2.7), (2.14).

Таким образом, зависимостями (2.18) определяются поле скоростей перемещений и деформаций.

Список литературы

1. Рудской А.И., Рудаев Я.И. Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов. – СПб.: Наука, 2009. – 218 с.
2. Чумаченко Б.Н., Смирнов О.М., Цепин М.А. Сверхпластичность: материалы, теория, технология. – М.: КомКнига, 2005. – 320 с.

3. Вайнблат Ю.М., Шаршагин Н.А. Динамическая рекристаллизация алюминиевых сплавов // Цветные металлы. – 1984. – №2. – С. 67-70.

4. Платонов В.В., Рудаев Я.И., Чашников Д.И. Прессование прутка с использованием сверхпластичности // Вопросы материаловедения. – 1996. – № 3(6). – С.29-39.

5. Кийко А.И. Пластическое течение металлов // Научные основы прогрессивной техники и технологии. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 102-133.

УДК 669.2/.8+539.2/.6

С.М.Сулайманова

ОБ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ В РЕЖИМАХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

Под объемной штамповкой понимают процесс, при котором металл заготовки деформируется с изменением всех размеров заготовки, принимая форму рабочей поверхности специального инструмента – штампа. Преимущества объемной штамповки перед свободной ковкой, прежде всего, в значительно более высокой производительности и точности размеров, а также в лучшем качестве поверхности изделий /1–3/. При этом резко сокращается дальнейшая чистовая обработка резанием. Штамповкой получают детали исключительно сложной формы. Однако необходимо учитывать, что штамп годен только для изготовления той поковки, для которой он спроектирован, в отличие от универсального инструмента свободнойковки.

Ряд особенностей, характеризующих металлы в состоянии сверхпластичности – чрезвычайно большая деформационная способность, малое значение напряжения течения, слабое влияние сверхпластической деформации на микроструктуру, высокая релаксационная способность /2/ – обеспечивают возможность значительного повышения эффективности процессов обработки металлов давлением и качества готовых изделий. С другой стороны, низкие скорости деформации, соответствующие состоянию и регламентированному температурному режиму деформации, существенно усложняют и удорожают подготовку производства, снижают производительность технологических процессов и в результате ограничивают использование сверхпластичности в обработке металлов давлением. Сопоставление указанных преимуществ и ограничений, а также обобщение имеющегося опыта использования сверхпластичности позволяет выделить ряд технологических задач, при решении которых наибольший эффект обеспечивает деформирование в состоянии сверхпластичности. К таким задачам относятся следующие.

1. Штамповка малопластичных и труднодеформируемых металлов и сплавов на основе никеля, титана, магния, алюминия, увеличение

деформационной способности материала в состоянии сверхпластичности позволяет существенно увеличить деформацию за один технологический переход и перейти, таким образом, к малооперационной технологии, в значительной мере компенсирующей уменьшение производительности процесса вследствие малых скоростей деформации.

2. Штамповка или другие способы формовки изделий, отличающихся особо сложной формой, получение которой часто недоступно для традиционных методов обработки металлов давлением (например, тонкостенные детали сложной формы с оребрением). Это дает возможность максимально приближать форму и размеры поковки к форме и размерам готовой детали, снижать до минимума или полностью исключать припуски на чистовую обработку, добиваясь значительной экономии дорогостоящих металлов и сплавов, снижения трудоемкости обработки резанием. В ряде случаев возможность получения изделий более сложной формы позволяет отказаться от применения сварки или механических способов соединения деталей в узел и заменить его монолитной деталью, что способствует существенному увеличению выносливости и долговечности.

3. Снижением требуемых усилий штамповки и мощности применяемого оборудования обеспечивается увеличение фондоотдачи деформирующего оборудования и уменьшение энергоемкости процессов штамповки. Иными словами, появляется возможность переводить производство ряда крупногабаритных штампованных поковок с мощных уникальных прессов на серийные прессы средней мощности и увеличивать максимально допустимые габариты поковок, штампуемых на мощных прессах. Малые давления при деформировании в состоянии сверхпластичности способствуют существенному увеличению стойкости штампового инструмента и позволяют заметно снизить его стоимость.

4. Улучшению ряда показателей качества готовой продукции способствуют повышенная текучесть и малые давления, которые при штамповке материалов в режимах сверхпластичности отвечают лучшему воспроизведению формы ручья штампа, повышению точности размеров и снижению шероховатости поверхности поковок, уменьшению разброса размеров в пределах партии поковок. Высокая устойчивость к релаксации напряжений материалов в состоянии сверхпластичности приводит практически к отсутствию внутренних напряжений в готовых поковках и, следовательно, обеспечивает стабильность размеров и формы готовых деталей, отсутствие коробления в процессе термической обработки и после нее повышенную стойкость материала детали против коррозии в химически активных средах. Формирование ультрамелкозернистой структуры материала заготовки в процессе динамической сверхпластичности /4/ обеспечивает получение высококачественных штампованных поковок, изотропных в отношении структуры и механических свойств.

При реализации технологической операции можно предусмотреть получение не только осесимметричных деталей типа тел вращения. Форма

получаемых полуфабрикатов может отличаться повышенной сложностью. Это, например, детали типа ступица с тонкими стенками, которые можно получать другими методами ОМД, но с куда большими затратами.

Теперь становится понятным перспективность способов формоизменения металлических изделий методами обработки давлением. Основным преимуществом такого способа обработки является улучшение свойств с помощью получения требуемой структуры металлов после пластической обработки, возможность сочетания пластической и термической обработки, достижение высокого качества поверхности и точных размеров изделий. Продукция получается не только прочнее, надежнее, долговременнее, но и дешевле, особенно при массовом производстве. Резко уменьшаются потери металла, отходы в виде стружки.

Наличие сверхпластичности позволяет расширить возможности и повысить эффективность точной изотермической объемной штамповки [1] деталей сложной формы, добиваясь при этом снижения до минимума отходов металла, уменьшения усилия штамповки, затрат энергии на процесс деформации, снижения трудоемкости производства, повышения качества продукции.

В настоящее время под точной объемной штамповкой принято понимать процесс получения деформированием в штампе детали без припуска на механическую обработку по всей поверхности за исключением той ее части, по которой данная деталь стыкуется с другими деталями при сборке. Таким образом, сверхпластичность в этом случае наиболее целесообразно использовать при штамповке тонкостенных деталей сложной формы с развитой поверхностью. При этом, если штампуются поковки малых и средних размеров, изготовление которых не лимитировано мощностью имеющихся прессов, то в этом случае эффект от использования сверхпластичности связан, главным образом, со снижением отходов металла, уменьшением объема и трудоемкости обработки резанием, повышением качества деталей. Этот эффект тем значительнее, чем дороже обрабатываемый сплав и чем он труднее деформируется в обычных условиях.

Однако наибольший эффект использования сверхпластичности достигается при штамповке крупногабаритных изделий сложной формы с развитой поверхностью, особенно если их штампуют из труднодеформируемых материалов, обладающих повышенным сопротивлением деформации. В этом случае применение обычной горячей штамповки может лимитироваться мощностью прессового оборудования или стойкостью штампового инструмента. Применение же режимов сверхпластичности решает эти задачи. При этом возможно увеличить в пределах номинального усилия прессы максимально допустимые размеры штампуемых деталей или перевести штамповку деталей с мощных (часто уникальных) прессов на серийные с меньшим номинальным усилием.

Отметим, что технология получения изделия должна быть эффективной и основываться на обобщении научной и технической сторон задачи, которые, следуя /5/, представимы в виде трех этапов:

I этап: отработка термомеханических режимов перехода сплавов в сверхпластическое состояние; выяснение влияния сверхпластической деформации на эксплуатационные свойства материала.

II этап: решение комплекса обработческих задач, включающих разработку конструкций и материалов оснастки, учитывающих особенности сверхпластической деформации; создание конструкции установки, обеспечивающей контроль и регулирование термомеханических параметров процесса деформирования с учетом длительного непрерывного воздействия высокой температуры.

III этап: отработка финишных операций.

В качестве технологического примера приложения сверхпластичности сошлемся на результаты /6/, которые позволили, используя схему обратного выдавливания, получить ряд деталей из алюминиевых сплавов (рис.1). Металлографические исследования осуществлены сравнительным анализом структурного состояния после изотермической штамповки и изготовления по стандартной технологии резанием. Преимущества изотермического способа сравнительно с традиционным сказались не только в близкой к мелкозернистой структуре, но и в таком показателе, как КИМ, который при штамповке был равен 0,75...0,8, а при резании – 0,13.

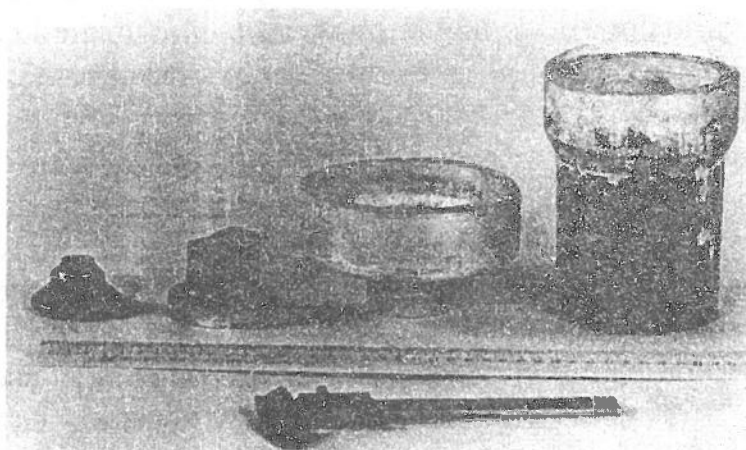


Рис.1. Детали “Стакан” (АМг5), “Корпус” (В48), “Крышка” (АК4),
“Сферическая опора” (Д18Т)

Обобщая сказанное, можно выделить ряд задач технологического плана, которые подлежат внимательному рассмотрению и решению. К ним относятся /7/:

— в процессах объемного формоизменения использование для изготовления полуфабрикатов и изделий сплавов в состоянии поставки (без предварительной подготовки структуры);

– получение ультрамелкого зерна, необходимого для осуществления эффекта, обеспечение оптимальным сочетанием нагрева и деформации, которые, очевидно, будут иметь место при суперпозиции деформации и различной природы структурных фазовых переходов /8/;

– обеспечение методов надежного и качественного изотермирования очага пластической деформации, поскольку при соблюдении термических условий сверхпластичности варьированием поля скоростей деформации можно выделить в очаге деформации сверхпластическую область;

– разработка рецептов смазок, работающих в условиях повышенных температур и с низкими скоростями процесса формоизменения.

В результате решения перечисленных задач можно прогнозировать получение изделий сложной формы методами горячего объемного формообразования с качественными структурными показателями.

Список литературы

1. Смирнов О.М. Обработка металлов давлением в состоянии сверхпластичности. – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.

2. Чумаченко Е.Н., Смирнов О.Н., Цепин М.А. Сверхпластичность: материалы, теория, технология. – М.: КомКнига, 2005. – 320 с.

3. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. – М.: Металлургия, 1984. – 264 с.

4. Рудской А.И., Рудаев Я.И. Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов. – СПб.: Наука, 2009. – 218 с.

5. Кайбышев О.А., Галимов М.Д. Технологические особенности изготовления сложнопрофильных деталей из промышленных сплавов с использованием эффекта сверхпластичности //Тез.докл. I Всесоюзн. научно-техн. конф. «Сверхпластичность металлов» (Уфа, май, 1978). – Уфа, 1978. – С.33-35.

6. Кунеев В.И., Пазылов Ш.Т., Рудаев Я.И., Чашников Д.И. Технологии динамической сверхпластичности //Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. – № 6. – С. 62–70.

7. Рудаев Я.И., Чашников Д.И. Основные пути использования сверхпластичности металлов в современной технике и технологии //Судостроительная промышленность. Серия металловедение, металлургия. – 1987. – Вып. 6. – С. 40–48.

8. Пресняков А.А. О природе сверхпластического течения //Тез.докл. III Всесоюзн. научно-техн. конф. «Сверхпластичность металлов», ч. I. – Тула, 1986. – С. 4-5.

О ВЛИЯНИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ ПРИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ БАЛОК

Все исследования в области приспособляемости ограничены случаем стабильных материалов /1/. Наиболее важным элементом различных строительных сооружений являются упругопластические системы, работающие при термосиловых воздействиях. В качестве строительного материала для многих конструкций используются, в основном, низкоуглеродистые стали обычного качества. Как известно, эти стали являются стареющими сплавами /2/. С одной стороны, процессы старения приводят к отрицательному эффекту – снижению пластичности и вязкости, с другой – старение способствует заметному упрочнению, повышающему несущую способность материалов и конструкций /3/. Наибольшее практическое значение имеет деформационное старение, которое, в отличие от закалочного, может происходить при весьма низком содержании примесных атомов в твердом растворе. Оно наблюдается практически для всего диапазона содержания углерода в стали. Эффекты упрочнения и охрупчивания – устойчивые при деформационном старении, что делает его более опасным, как отрицательное явление, и более перспективным при использовании старения в качестве упрочняющей обработки.

Другой упрочняющийся эффект, связанный с пластической деформацией и имеющий совершенно иную природу, известен как эффект приспособляемости, по терминологии В.Прагера /4/. Суть этого эффекта сводится к следующему. Если при начальном нагружении в твердом теле или в его некоторых конечных областях, при неоднородном напряженном состоянии, как это наблюдается в случае упруго-пластического изгиба балок, возникают пластические деформации, то после удаления внешних сил система не возвращается в исходное состояние. В ней возникнут некоторые остаточные деформации, и что существенно в случае статически неопределимых систем, возможно возникновение остаточных напряжений (и реактивных усилий) благоприятного обратного знака. При повторном нагружении напряжением, не превышающим первоначальной величины, новые пластические деформации не возникнут из-за наличия поля остаточных напряжений. Таким образом, будет иметь место эффект расширения области приспособляемости и упрочнения системы. В механике материалов исследованы многочисленные примеры подобных упруго-пластических конструкций и систем, приспособляющихся в процессе циклического нагружения.

В случае же, когда система изготовлена из стареющих, нестабильных материалов, взаимосвязанные процессы приспособляемости и старения создают новые возможности для длительной работоспособности упруго-пластических систем.

Влияние старения на приспособляемость упруго-пластических систем было исследовано в работе /5/ экспериментально для системы из трех стержней. Данные по искусственному и естественному старению показывают, что эффекты увеличения предела текучести и охрупчивания могут стать дополнительными факторами улучшения свойств приспособляемости упруго-пластических систем. В работе /5/ показано, что в случае системы без старения область приспособляемости увеличилась на 47 %, с учетом старения это число достигает 83 %. Необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования для более детального понимания взаимосвязанных процессов приспособляемости и старения. В случае среды со старением уравнения теории пластичности были сформулированы в работе /6/.

В данной работе приводится решение простейшей задачи определения остаточных деформаций (прогибов) при упруго-пластическом изгибе. Таким образом, повышение резерва прочности материала происходит только за счет пластических деформаций. Предлагается, что влияние эффектов старения на процессы приспособляемости можно проводить в задачах такого типа путем соответствующей замены механических характеристик материала (предела текучести σ_T) исходя из опытов на растяжение или кручение.

При изгибе балок поперечной нагрузкой не учитывают влияние на напряженное состояние поперечной силы, т.е. задачи решают в одномерной постановке, что существенно упрощает расчеты, так как нет необходимости рассматривать условия пластичности, как, например, в задачах об изгибе круглых пластинок /7/.

В качестве иллюстрированного примера рассмотрим двухопорную балку, нагруженную сосредоточенной силой P , приложенной посередине пролета. Пусть длина балки $l = 2$ м, размеры поперечного сечения $b \times h$ (4 см $\times$ 8 см). Диаграмма деформации материала балки не имеет упрочнения ($\sigma_T = 240$ МПа; $E = 2 \times 10^3$ МПа). Решение задачи распадается на два этапа. На первом выясняют напряженные состояния в сечениях балки, а затем переходят к определению перемещений, используя, например, интеграл Мора. Определяем максимальный прогиб f в указанной задаче в зависимости от внешней силы P при упруго-пластическом деформировании.

Интеграл Мора в данном случае будет состоять из двух слагаемых. Первое слагаемое соответствует крайним участкам, где деформации балки являются полностью упругими. Эти вычисления, как известно, следует приводить по формулам сопротивления материалов

$$\delta = \int_s \frac{M_p M_1}{EJ_x} dS, \quad (1)$$

где M_p — изгибающий момент в текущем сечении от заданной нагрузки; M_1 — изгибающий момент в текущем сечении от единичной нагрузки.

Второе слагаемое для среднего пластического участка вычисляется по следующей формуле /7/:

$$\delta = \int_S M_1 \left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_0} \right) dS. \quad (2)$$

В этом выражении величина $(1/\rho_1 - 1/\rho_0)$ представляет собой изменение кривизны элемента в связи с изгибом от заданной нагрузки P .

Для прямого бруса радиус начальной кривизны ρ_0 равен бесконечности, поэтому величину $1/\rho_0$ надо положить равной нулю.

Ввиду симметрии правой и левой части балки достаточно рассмотреть только одну ее половину. Выберем начало координат на левом конце балки и обозначим через переменную величину z , координаты поперечного сечения, расположенного на границе упругого и пластического участка.

$$f = 2 \int_0^{z_T} \frac{M_p M_1}{E J_x} dz + 2 \int_{z_T}^{l/2} \frac{1}{\rho} M_1 dz. \quad (3)$$

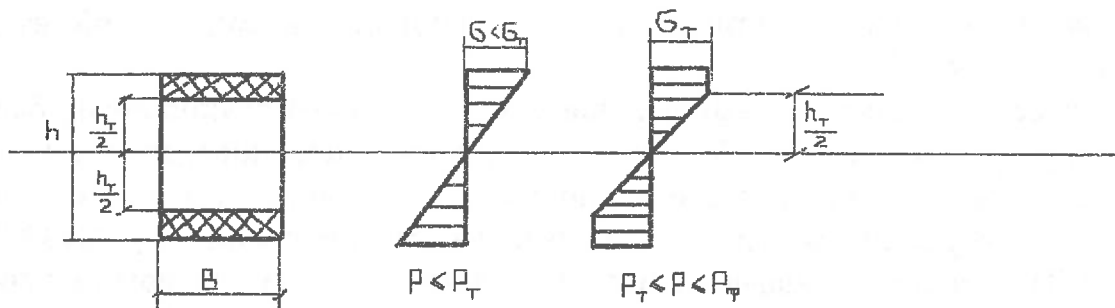
Величина изгибающего момента в произвольном сечении балки $M_p = \frac{P}{2} z$.

При $z = l/2$ имеем $M_{\max} = Pl/4$.

Первые пластические деформации будут при достижении силы $P = P_T$. $P_T = 4M_T/l$.

С другой стороны, $\sigma_T = M_{\max}/W_x = P_T l/6bh^2$. Таким образом, $P_T = 2/3 \sigma_T b h^2/l$.

Представим эпюры распределения напряжений по высоте прямоугольного сечения



При увеличении нагрузки P сверх величины P_T в опасном сечении балки возникают две области — упругая и пластическая. Координату z_T можно вычислить, приравняв изгибающий момент в текущем сечении к моменту $M_T = P_T l/4$:

$P/2z = M_T = P_T l/4$, отсюда, $z_T = P_T/P l/2$.

Кривизну балки на среднем пластическом участке выразим через высоту упругой области сечения h_T/l :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2\varepsilon_T}{h_T} = 2 \frac{\sigma_T}{E h_T}. \quad (4)$$

Подставив это значение под знак второго интеграла в (3), а также приняв во внимание, что момент в текущем сечении от заданной нагрузки равен: $M_p = Pz/2$, а момент в том же сечении от единичной нагрузки равен $M_1 = 1/2z$, будем иметь

$$f = 2 \int_0^{z_T} \frac{Pz}{2} \cdot \frac{z}{EJ_x} dz + 2 \int_{z_T}^{1/2} \frac{2\sigma_T}{Eh_T} \cdot \frac{z}{2} dz. \quad (5)$$

Опуская промежуточные выкладки, приведем окончательное выражение для интегралов (5) и приведем расчеты для числового примера

Из (5) имеем

$$f = \frac{Pl^3}{48EJ_x} \left(\frac{P_T}{P} \right)^3 \left[5 - \frac{9}{2} \left(3 - 2 \frac{P}{P_T} \right)^{1/2} + \frac{1}{2} \left(3 - 2 \frac{P}{P_T} \right)^{3/2} \right].$$

Для рассматриваемого случая $P = 5/4 P_T$; $J_x = bh^3/12 = 171 \text{ см}^4$.

Величина максимального прогиба $f = 1,28 \text{ см}$.

Вычисляем значение прогиба после разгрузки по формулам упругой деформации $f_{\text{разг}} = Pl^3/48EJ_x = 1,25 \text{ см}$.

Находим величину остаточного прогиба $f_{\text{ост}} = 1,28 - 1,25 = 0,03 \text{ см}$.
Повышение предела пропорциональности в данном случае составляет 25 %.

Список литературы

1. Почтман Ю.М., Пятигорский З.И. Расчет и оптимальное проектирование конструкций с учетом приспособляемости. – М.: Наука, 1978. – 208 с.
2. Арутюнян Р.А. Проблема деформационного старения и длительного разрушения в механике материалов. – СПб: Из-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 252 с.
3. Адигамов Н.С, Арутюнян Р.А. О малоциклового усталости стареющих сплавов//Вестник С.-Петербург ун-та, 2001.– Сер.1.– Вып. 2(№ 9).– С.66-69.
4. Prager W. Problem Types in Theory of Perfectly Plastic Materials// J.Aer.Sci., 1948. – V.15. – P. 337-341.
5. Арутюнян Р.А., Трошин Д.Е. О влиянии эффектов деформационного старения на приспособляемости упругопластических систем// Механика твердого тела . – 2001.– №5.– С. 152-155.
6. Адигамов Н.С, Аманбаева Г.М. К теории идеальной пластичности с учетом процессов старения.// Материалы 4-й Международной научной конференции. – М:РАЕ, 2005. – С. 22-25.
7. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: «Машиностроение», 1968.– 400 с.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ КОНКРЕТИЗАЦИИ КРИТЕРИЯ ПРОЧНОСТИ КУЛОНА-МОРА

Критерий Кулона-Мора используется, в основном, при составлении паспорта прочности горных пород. Последние, как известно, обладают рядом особенностей в их поведении под нагрузкой, что отличает такие полухрупкие материалы от металлов и сплавов. В частности, при деформировании горных пород проявляется эффект дилатансии, вызывающий остаточное изменение объема. Этот эффект в явном виде возникает при нагрузках, превышающих пределы упругости. Это обстоятельство приводит к тому, что первые скольжения в материале испытываемых образцов происходят не в плоскости максимального касательного напряжения (как у пластичных материалов), а в соседних к ней плоскостях. Если интенсивность развивающихся затем (с ростом уровня напряжений) скольжений становится наибольшей в плоскости их возникновения, то именно по этой плоскости произойдет срез (разрушение) при достижении предельной нагрузки. Такая идеализированная схема определения плоскости среза подтверждается при анализе полученных в опытах значений угла среза α_0 для многих горных пород [1] при различных видах напряженного состояния. Этот угол при сжатии стандартных цилиндрических образцов отсчитывается от оси образца. Сжатие осуществляется по схеме Кармана, когда на осевое сжатие накладывается равномерное боковое поджатие, меньшее по величине, чем осевое напряжение (σ_1). При этом сжимающие напряжения считаются положительными.

Таким образом, главные напряжения соотносятся между собой так:

$$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \geq 0, \quad \sigma_2 / \sigma_1 = c, \quad (1)$$

где параметр c характеризует вид напряженного состояния.

В плоскости, повернутой относительно площадки действия максимального касательного напряжения (T) на угол β , нормальное и касательное напряжения определяются формулами:

$$\sigma_\beta = \sigma_0 + T \sin 2\beta, \quad \tau_\beta = T \cos 2\beta, \quad (2)$$

где

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, \quad T = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}. \quad (3)$$

Условие Кулона-Мора для пределов упругости (прочности) можно представить в виде:

$$\tau_\beta = S_0 - \mu \sigma_\beta. \quad (4)$$

Здесь μ, S_0 — параметры материала, определяемые из эксперимента.

Учитывая формулы (2), выразим условие (4) так:

$$T \cos 2\beta_0 = S_0 - \mu(\sigma_0 + T \sin 2\beta_0), \quad (5)$$

где β_0 — неизвестный угол, определяющий направление первого сдвига (или плоскость разрушения в случае ее совпадения с плоскостью первых скользящих).

Правая часть формулы (5) называется начальным сопротивлением скольжению (сдвигу), обозначается S_β . При первом скольжении касательные к кривым $S_\beta = S_\beta(\beta)$ и $\tau_\beta = \tau_\beta(\beta)$ совпадут, т.е.

$$\frac{dS_\beta}{d\beta} = \frac{d\tau_\beta}{d\beta} \text{ при } \beta = \beta_0, \quad (6)$$

что дает

$$\mu = \operatorname{tg} 2\beta_0. \quad (7)$$

Таким образом, величина угла β_0 определяется параметром μ , величина которого зависит от вида напряженного состояния (от c).

В плоскости среза соотношение между нормальным и касательным напряжениями удовлетворяет условию

$$\sigma_{\beta_0} = k\tau_{\beta_0}, \quad (k = k(c)). \quad (8)$$

По экспериментальным данным [2] $k = 2$ при напряженном состоянии $c = 1/3$, когда максимальное касательное напряжение становится равным среднему главному напряжению; далее при $c > 1/3$ реализуется критерий Треска, т.е.

$$T|_{c=1/3} = \text{const}, \quad k|_{c=1/3} = 2. \quad (9)$$

Условие (8) доставляет уравнение для определения угла β_0 . Из его решения, опуская промежуточные преобразования, получим

$$\sin 2\beta_0 = [-(1+c) + k\sqrt{(1+k^2)(1-c)^2 - (1+c)^2}] / [(1+k^2)(1-c)]^{-1}. \quad (10)$$

Используя равенство (8), согласно (4) с учетом выражений (2) имеем

$$\sigma_1 = \frac{2S_0}{(1-c)(\cos 2\beta_0 + k \sin 2\beta_0)}. \quad (11)$$

Уравнение (11) дает связь между главными напряжениями, которую можно использовать для построения предельных кругов Мора, если задать параметр S_0 . Приемлемым является

$$S_0 = S_0^0 e^{c(\xi + c\eta)}, \quad (12)$$

где

$$S_0^0 = \frac{1}{2} \sigma_c (\cos 2\beta_0^0 + k_0 \sin 2\beta_0^0) \quad (\beta_0^0 = \beta_0|_{c=0}, \quad k_0 = k|_{c=0}). \quad (13)$$

Здесь σ_c — предел прочности при одноосном сжатии, а параметры ξ и η в общем случае определяются [3] по экспериментальным данным для пределов прочности при каких-либо двух видах напряженного состояния, отличных от одноосного сжатия. В первом приближении можно использовать только эксперимент на одноосное сжатие. Для этого вначале надо рассмотреть построение огибающей к кругам Мора.

Уравнение кругов Мора можно представить [3] в виде

$$\varphi(\sigma, \tau, c) = \sigma^2 + \tau^2 - (1+c)\sigma_1\sigma + c\sigma_1^2 = 0, \quad (14)$$

где в качестве параметра данного семейства кругов фигурирует c .

Согласно известной теореме /4/ огибающая семейства вида (14) должна также удовлетворять уравнению:

$$\varphi_c(\sigma, \tau, c) = 0 \quad (\varphi_c = \partial \varphi / \partial c) \quad (15)$$

или

$$\varphi_c(\sigma, \tau, c) = -(\sigma_1)_c(1+c)\sigma - \sigma_1\sigma + \sigma_1^2 + 2\sigma_1c(\sigma_1)_c = 0 \quad (16)$$

Из системы уравнений (14) и (16) определяется совокупность точек (σ, τ) данной огибающей:

$$\sigma = \frac{\sigma_1[\sigma_1 + 2c(\sigma_1)_c]}{\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)_c}, \quad \tau = \frac{(1-c)\sigma_1}{\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)_c} \sqrt{[\sigma_1 + c(\sigma_1)_c](\sigma_1)_c} \quad (17)$$

Принимая зависимость (11), найдем

$$(\sigma_1)_c = \sigma_1 R(c), \quad (18)$$

где

$$R(c) = \xi + 2c\eta + \frac{1}{1-c} - \frac{(k - \operatorname{tg} 2\beta_0)(\sin 2\beta_0)_c + k_c \sin 2\beta_0}{\cos 2\beta_0 + k \sin 2\beta_0} \quad (19)$$

Согласно (17) - (19)

$$\frac{\sigma}{\tau} = \frac{1 + 2cR}{(1-c)\sqrt{(1+cR)R}} \quad (20)$$

Если известно полученное таким образом отношение σ/τ при двух видах напряженного состояния, то можно определить параметры ξ и η , через которые выражается функция $R(c)$, зная, кроме этого, функцию $k(c)$. Последняя обращается в константу, если соотношение (8) выполняется для всех видов напряженного состояния при условии, что $k(c) = k(1/3)$, т.е. k равно значению (9). При этом формула (10) должна давать значение угла среза α_0 ($\alpha_0 = 45^\circ - \beta_0$), наблюдаемое в опытах на трехосное сжатие для всех осуществленных видов напряженного состояния. Это требование выполняется почти точно для талькохлорита /2/. Для других горных пород (указанных в /2/) определяемое теоретическое значение угла α_0 подтверждается приближенно: отличие от наблюдаемого в опыте значения угла среза составляет при разных c от 3° до 7° . Наибольшее расхождение (из этого интервала) между расчетным и экспериментальным значением угла α_0 получается для большинства представленных в /2/ песчаников.

В случае одноосного сжатия ($c = 0$) из (20) имеем

$$R_0 = R(0) = 1/(\sigma_0/\tau_0)^2, \quad (21)$$

где

$$\sigma_0/\tau_0 = (\sigma/\tau)|_{c=0}. \quad (22)$$

Из построения круга Мора $c=0$ отношение (22) легко выражается через угол α_0 . Это дает условие для определения параметра ξ . Второе условие – для определения параметра η – получим, учитывая, что максимальное касательное

напряжение при переходе за некоторое предельное состояние c_n (т.е. при $c > c_n$ остается постоянным. Иначе говоря,

$$\left. \frac{\partial T}{\partial c} \right|_{c > c_n} = 0. \quad (23)$$

Из этого равенства вытекает

$$(\sigma_1)_c = \sigma_1 \frac{1}{1-c} \quad (c \geq c_n). \quad (24)$$

Как указано выше, для большинства горных пород $c_n = 1/3$. При этом и угол β_0 с ростом c не изменяется, т.е.

$$(\sin 2\beta_0)_c \big|_{c=c_n+O(c)} = 0, \quad (25)$$

где $O(c)$ — бесконечно малая величина.

Сопоставляя (18) и (24), получим заявленное выше второе условие (для определения параметра η).

Согласно (8) и (2)

$$k = \frac{(1+c) + (1-c) \sin 2\beta_0}{(1-c) \cos 2\beta_0}. \quad (26)$$

Эту формулу используем при $c=0$ для определения коэффициента k_0 , задавая угол среза α_0 . Если при этом получается, что для рассматриваемого материала (с учетом экспериментальных данных) $k_0 \neq 2$, то функцию $k(c)$ представим, используя линейную интерполяцию:

$$k(c) = 3[ck_n + (1/3 - c)k_0], \quad (27)$$

где k_n равно значению (9), получающемуся для предельного напряженного состояния ($c = 1/3$), при котором еще справедлив критерий Кулона-Мора.

В результате, используя только экспериментальные данные для одноосного сжатия и постулируемое поведение горных пород в момент смены критерия Кулона-Мора критерием Треска, можно по приведенным зависимостям построить предельные круги Мора и огибающую к ним для напряженных состояний $c \in [0, 1/3]$.

Для экстраполяции огибающей в область растягивающих напряжений (в частности, для определения предела прочности на растяжение) можно использовать метод, изложенный в [3].

Ниже на рис. 1 приведены расчетные круги Мора, построенные по зависимости (11) в сравнении с кругами Мора, построенными по экспериментальным данным А.Н.Ставрогина при разных видах напряженного состояния для талькохлорита, песчаника выбросоопасного и песчаника, не опасного по выбросам.

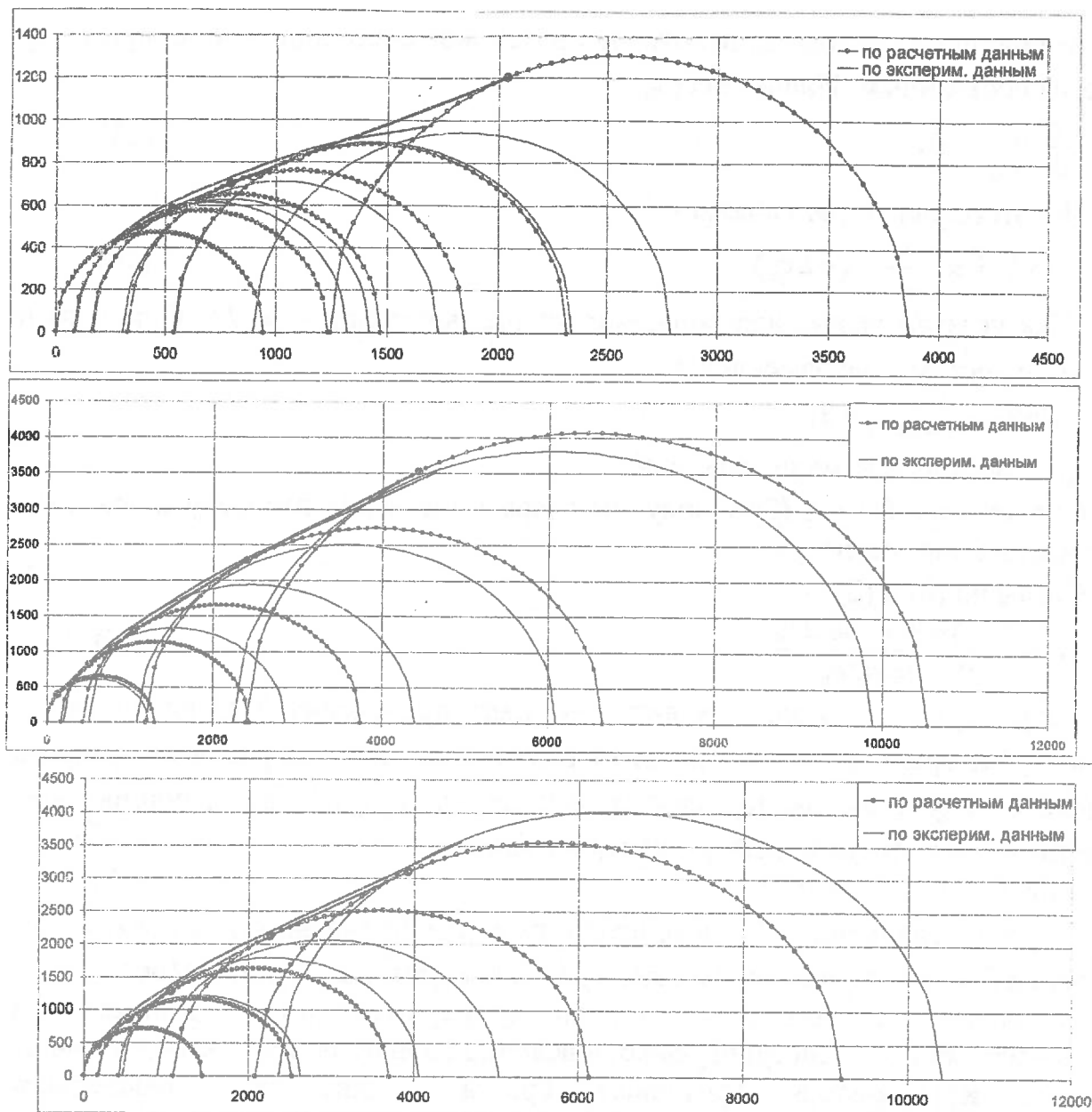


Рис. 1. Круги Мора для талькохлорита, песчаников выбросоопасного и неопасного по выбросам, построенные по расчетным данным и экспериментальным данным

Список литературы

1. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. — М.: Недра, 1979.
2. Тарасов Б.Г. Закономерности деформирования и разрушения горных пород при высоких давлениях. Автореферат. дис. на соиск. ... д-ра техн. наук. — СПб., 1991.
3. Рычков Б.А., Кондратьева Е.И., Маматов Ж.Ы. Дилатансия геоматериалов с учетом разупрочнения // Вестник Самарского гос. ун-та. — 2004. — Спец. вып.
4. Погорелов А.В. Дифференциальная геометрия. — М.: Наука, 1974.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С ПОЛЯМИ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ВНЕШНИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Остаточные напряжения в массивах скальных пород, взаимодействуя с гравитационными, современными тектоническими и техногенными напряжениями, оказывают значительное влияние на характер и специфические особенности пространственного распределения в них результирующих полей напряжений /1/.

В связи с этим нами исследовалось взаимодействие полей остаточных напряжений в образце из оптически активного материала с полями напряжений, созданными внешними вертикальными и горизонтальными силами. В качестве метода моделирования использован широко применяемый в практике изучения напряжений в твердых телах поляризационно-оптический метод /2/.

Методика проведения эксперимента.

Характер пространственного распределения результирующих напряжений исследовался при взаимодействии полей напряжений в оптически активной твердой модели. Твердый оптически активный образец призматической формы был изготовлен из материала на основе эпоксидной смолы ЭД-6 размером 10x5x2 см. В свободном от напряжений оптически активном образце путем термообработки были созданы поля остаточных напряжений. Термообработка заключалась в постепенном нагревании образца в термостате до определенной температуры с последующим резким его охлаждением. Ниже на рис. 1 показан образец с наведенными термообработкой полями остаточных напряжений. Его оптико-физико-механические характеристики: объемный вес $\gamma = 1,38 \text{ г/см}^3$, модуль упругости $E = (3,5 \div 3,6) \cdot 10^4 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,34$, оптический коэффициент $C = (1950 \div 2000) \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{кг}$.

Величины главных нормальных и максимальных касательных напряжений в образце определялись поляризационно-оптическим методом. Для создания вертикальной и горизонтальной нагрузок оптически активного образца с остаточными напряжениями использовалось специальное нагрузочное устройство.

Результаты экспериментальных исследований.

Ниже в виде эпюр приведены три варианта распределения остаточных и результирующих напряжений по основным сечениям оптически активного образца, зарегистрированных в экспериментах. В первом варианте определены величины наведенных остаточных напряжений в образце (рис. 1) по его основным сечениям и установлен их характер распределения.

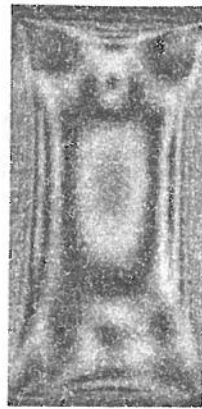


Рис. 1. Оптически активный образец с остаточными полями напряжений

На рис. 2, а приведены эпюры распределения остаточных напряжений по вертикальному сечению образца, из которых следует, что в этом направлении действуют и растягивающие, и сжимающие главные нормальные остаточные напряжения. Нетрудно заметить, что сжимающие напряжения в данном сечении превосходят по величине растягивающие напряжения. Характер распределения полей как главных нормальных, так и максимальных касательных остаточных напряжений по вертикальному сечению образца, как видно из эпюр (рис. 2, а, б), неоднородный, скачкообразный.

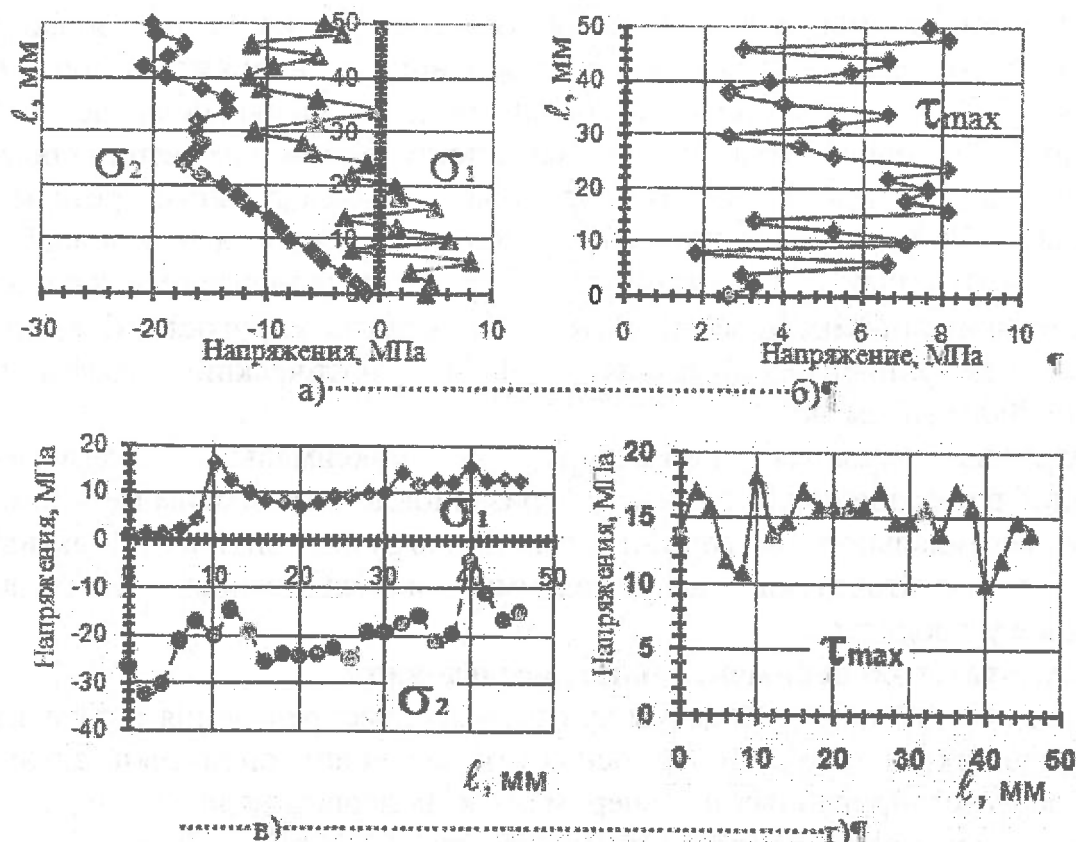


Рис. 2. Эпюры распределения главных нормальных и максимальных касательных остаточных напряжений: а, б – по вертикальному сечению; в, г – по горизонтальному сечению образца [3/

Эпюры распределения главных нормальных остаточных напряжений по горизонтальному сечению образца (рис. 2, в) показывают, что главное нормальное напряжение σ_1 является растягивающим, а второе главное нормальное напряжение σ_2 – сжимающим. Величины указанных напряжений в боковых частях образца выше, чем в его срединной зоне. Здесь имеет место неоднородное распределение данных напряжений в боковых его частях, и относительно равномерный характер – в срединной зоне (рис. 2, в, г).

Сравнивая эпюры остаточных напряжений по двум основным сечениям образца, можно заметить, что величины главных нормальных остаточных напряжений по горизонтальному сечению в отдельных точках в 1,5 раза, а максимальных касательных напряжений – в 2,3 раза больше, чем по вертикальному сечению.

Во втором эксперименте рассматривалось взаимодействие остаточных напряжений в образце с полями напряжений, созданными внешними вертикальными и горизонтальными нагрузками. Для этого образец с остаточными полями напряжений (рис. 1) при помощи специального нагрузочного устройства нагружался вертикальной и горизонтальной нагрузками, где $P_v = 1,5$ МПа, а $P_r = 1$ МПа.

Эпюры результирующих напряжений приведены ниже на рис. 3, а, б, в, г. Из рисунка 3, а следует, что по вертикальному сечению образца при взаимодействии трех полей напряжений, как и в первом варианте моделирования, имеют место и растягивающие, и сжимающие результирующие напряжения. Максимальная величина сжимающих результирующих напряжений наблюдается вблизи торцевой части образца. Необходимо отметить, что в данном случае по вертикальному сечению образца наблюдается рост величин и зоны действия растягивающих результирующих напряжений. Характер распределения главных нормальных и максимальных касательных результирующих напряжений по вертикальному сечению образца имеет более спокойный вид сравнительно с характером распределения полей остаточных напряжений (рис. 3, а, б).

Из эпюр результирующих напряжений (рис. 3, в, г), видно, что по горизонтальному сечению образца наблюдается снижение величин как главных нормальных, так и максимальных касательных напряжений. В характере распределения главных нормальных и максимальных касательных результирующих напряжений по горизонтальному сечению образца, по сравнению с первым вариантом исследований, существенных различий не выявлено.

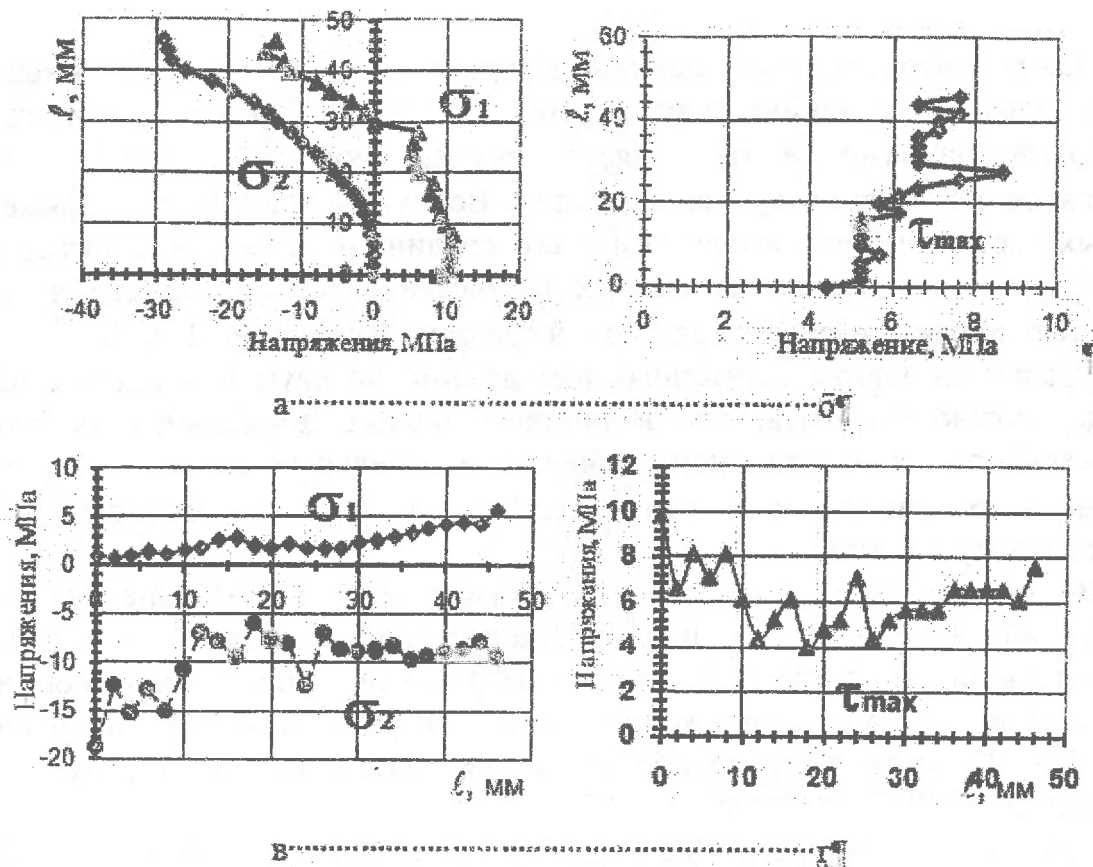


Рис. 3. Эпюры распределения главных нормальных и максимальных касательных результирующих напряжений: а, б – по вертикальному сечению; в, г – по горизонтальному сечению образца ($P_v=1,5$ МПа, а $P_r=1$ МПа)

В третьем эксперименте внешние нагрузки на образец с остаточными полями напряжений увеличены: вертикальная нагрузка – до $P_v=2,6$ МПа, а горизонтальная – до $P_r=1,7$ МПа. Эпюры распределения главных нормальных результирующих напряжений по вертикальному сечению образца показывают, что в результате увеличения внешних нагрузок на образец существенно увеличились величины и зона распространения растягивающих напряжений. Также изменился характер распределения результирующего напряжения σ_2 , приняв знакопеременный вид (рис. 3, а). Общий характер распределения главных нормальных результирующих и максимальных касательных напряжений по вертикальному сечению образца имеет знакопеременный, скачкообразный вид (рис. 4, а, б).

Из эпюр по горизонтальному сечению образца данного варианта моделирования (рис. 4, в) видно, что и здесь характер распределения главных нормальных результирующих напряжений заметно изменился. Наблюдается появление зоны высоких сжимающих результирующих напряжений. Общий, неоднородный характер распределения результирующих напряжений по горизонтальному сечению образца виден из рис. 4, г.

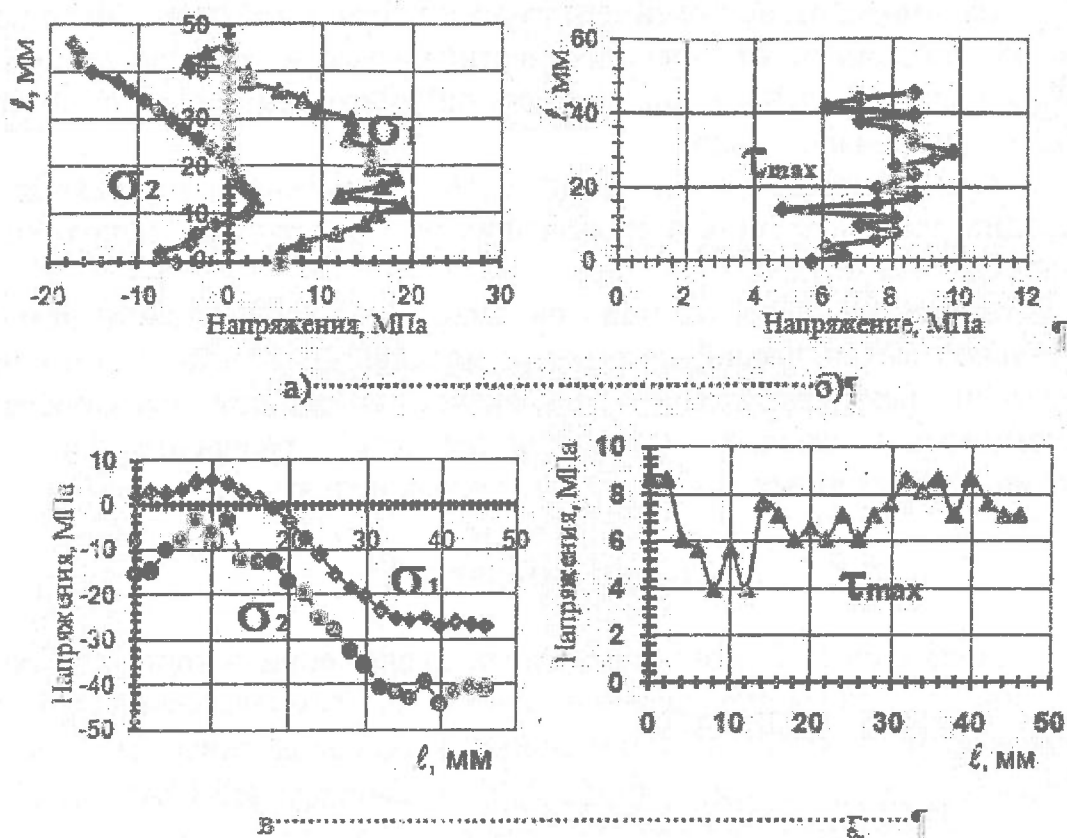


Рис. 4. Эпюры распределения главных нормальных и максимальных касательных результирующих напряжений: а, б – по вертикальному сечению; в, г – по горизонтальному сечению образца ($P_v=2,6$ МПа, $P_r=1,7$ МПа)

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показали, что даже в однородной твердой оптически активной модели распределения полей остаточных напряжений имеет место неоднородный, скачкообразный характер. В результате взаимодействия остаточных напряжений и напряжений, созданных внешними вертикальными и горизонтальными силами в основных сечениях модельного образца, появились локальные зоны с повышенными концентрациями как сжимающих, так и растягивающих результирующих напряжений. Пространственное распределение результирующих напряжений в целом в образце сохраняет скачкообразный, знакопеременный характер, свойственный для чисто остаточных полей напряжений.

Данные результаты лабораторных экспериментальных исследований качественно согласуются с результатами натурных измерений напряжений в массивах скальных горных пород.

Выводы:

1. Пространственное распределение остаточных напряжений, наведенных термообработкой в модельном образце, имеют периодический и знакопеременный характер.

2. Взаимодействие полей остаточных напряжений в образце с полями напряжений, созданных от внешних вертикальных и горизонтальных сил, приводит к росту растягивающих напряжений в его вертикальном сечении и сжимающих – в горизонтальном.

3. При взаимодействии трех полей напряжений появляются зоны концентрации растягивающих и сжимающих результирующих напряжений по основным сечениям образца.

4. Установлено, что при наложении внешней вертикальной и горизонтальной механической нагрузки в модельном образце с остаточными напряжениями результирующие напряжения сохраняют скачкообразный, знакопеременный характер пространственного распределения полей напряжений, свойственных для чисто остаточных напряжений.

Список литературы

1. Айтматов И.Т. Роль остаточных напряжений в горных породах в формировании очагов горных ударов и техногенных землетрясений. /Сб. мат-ов II международн. симп. «Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов». Бишкек–М., 2002. – Бишкек: ИВТРАН, 2003. – С. 209-221.

2. Хаимова-Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – М.: Наука, 1970. – С. 115.

3. Айтматов И.Т., Казакбаева Г.О. Моделирование взаимодействия остаточных напряжений с напряжениями от внешних сил в твердых оптически-активных образцах //Геодинамика и напряженное состояние недр Земли, Труды Всероссийской конференции, посвященной 80-летию академика М.В. Курлени (с участием иностранных ученых) 03-06 октября 2011 г. Том 1. – Новосибирск, 2011.

УДК 625.711.812

О.В.Никольская, Г.А.Кадыралиева

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ И МЕСТНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ ГОРНЫХ ДОРОГ

Строительство автомобильных дорог является одной из приоритетных отраслей для развития промышленности, сельского хозяйства, туризма в стране и выхода в рынки соседних стран. В Кыргызстане 95 % пассажирских и грузовых перевозок обеспечивает дорожная сеть. Общая протяженность автомобильных дорог в стране составляет 34000 км, среди которых автодорога

Бишкек-Ош является главной дорожной артерией республики как во внутригосударственном, так и в международном плане.

Дорожная сеть Кыргызстана построена в сложных физико-географических условиях с сильно пересеченным рельефом, резко континентальным климатом, подверженным как природным, так и природно-техногенным опасностям /1/.

Обеспечение бесперебойного и безопасного движения автомобилей является главным приоритетом в дорожном секторе. Однако обеспечение безопасности на горных дорогах остается актуальной задачей, поскольку вред, причиняемый природе, и последующие затраты на ремонт и восстановление нарушенных участков дорог нередко превышают ущерб, наносимый интенсивностью движения большегрузного транспорта.

Откосы автомобильных дорог на горных склонах подвергаются таким опасным гравитационным склоновым процессам, как оползни, камнепады, осыпи, сплывы и оплывины.

Если смещению грунтовых масс подвержен весь приоткосный массив склона или откоса, то это свидетельствует о нарушении общей устойчивости; если же нарушение проявляется в смещении непосредственно грунта на откосе до глубины 0,5-1,0 м, то это нарушение местной устойчивости откосов горных дорог.

Нарушение местной устойчивости откосов горных дорог происходит непосредственно в результате интенсивного таяния, дождей и является одной из причин разрушения дорожного полотна и перебоев в движении транспорта, что нередко приводит к существенным потерям как грузоперевозчиков, так и дорожных служб (рис. 1).

Нарушение местной устойчивости откосов возникает в результате снижения прочности грунтов под влиянием физико-химического выветривания и избыточного увлажнения. В результате этих процессов изменяются состав, структура, плотность, влажность, водно-физические свойства грунтов, снижаются прочностные показатели грунта за счет промерзания и оттаивания грунтов, их набухания и усадки при изменении влажности на поверхности откоса в зоне аэрации. Поэтому при проектировании и строительстве горных дорог важное место занимает оценка как общей, так и местной устойчивости склонов и откосов. Устойчивость откосов обеспечивается при условии, что сдвиговые деформации грунта на откосе по поверхности скольжения не выходят за пределы упругих удерживающих сил ($T_{уд}$) и превышают сдвигающие ($T_{сдв}$), т.е. $T_{уд} \leq T_{сдв}$.



Рис. 1. Нарушение местной устойчивости откоса на автомобильной дороге Бишкек-Ош на участке 400+700-400+820 км

К основным причинам нарушения местной устойчивости относятся: процессы влагонакопления грунта перед промерзанием, прогревание грунта, весенние атмосферные осадки, изменение водно-физических и прочностных свойств грунта под действием осадков и температуры воздуха, потеря устойчивости откоса вследствие перехода грунта в текучее состояние и смещения по откосу /2/.

При оценке местной устойчивости оценивают развитие деформаций локального скольжения, пластического течения, сплывов и выносов в пределах активной зоны, чаще всего определяемой глубиной промерзания или прогревания.

Начальными формами нарушения местной устойчивости являются трещины по бровке и поверхности откоса, в зоне активного выветривания, которые в дальнейшем приводят к развитию деформаций /3/.

Оценка местной устойчивости откосов горных дорог в первую очередь зависит от физико-механических свойств грунтов, слагающих откос, основным из которых является влажность.

Существующие методы оценки местной устойчивости откосов учитывают влияние прочностных свойств грунтов, однако в расчетах практически не учитывается влияние сезонного изменения температуры на прочностные свойства грунтов.

В период года с отрицательными температурами грунт на поверхности откоса замерзает, тем самым к твердой, жидкой и газообразной компонентам грунта прибавляется лед. Глубина промерзания зависит от высоты местности, типа грунта, от состава грунта, теплопроводности и теплоемкости грунта. Согласно проведенным наблюдениям на метеостанциях Суусамыр, Алабель и

анализу результата этих наблюдений, установлено, что наибольшая глубина промерзания в зависимости от высоты местности отмечена в крупнообломочных грунтах, наименьшая – в суглинках (рис. 2).

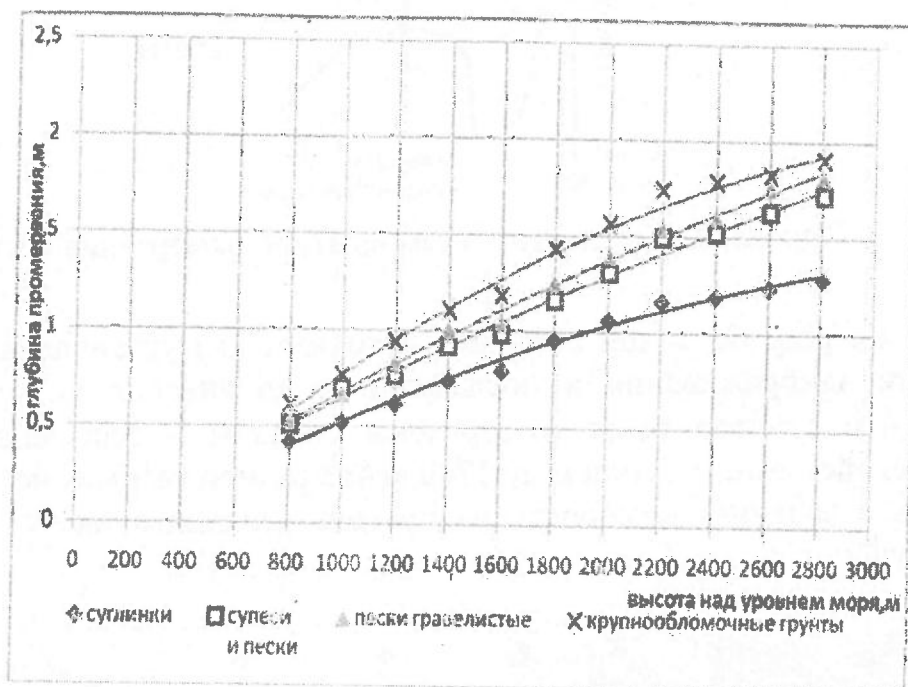


Рис. 2. Зависимость глубины промерзания грунтов, откосов выемок горных дорог от типа грунта и высоты местности

В период года с положительными температурами лед в составе грунта начинает таять, что приводит к увеличению его влажности. Это объясняется тем, что при нагревании грунта помимо свободной воды в грунтах тает и связанная вода. Связанная вода в грунте содержится в двух видах: прочносвязанная вода (гигроскопическая) вступает во взаимодействие с поверхностью минерального зерна и рыхлосвязанная вода (пленочная), которая образует второй сплошной и более толстый слой вокруг зерна [4].

Пленочная обладает повышенной вязкостью, упругостью, замерзает при температуре -2°C , а оттаивает при температуре 0°C (рис. 4). При понижении температуры грунта ниже нуля возникает явление переохлаждения и образование кристаллов льда, затем наблюдается некоторое повышение температуры, и дальнейшее понижение температуры грунта происходит практически линейно (рис. 3) [5].

За счет этого нарушение местной устойчивости откосов происходит в весенний период года даже на тех участках, где практически нет снежного покрова.

В связи с этим для изучения влияния сезонного колебания температуры на прочностные свойства грунтов была проведена серия лабораторных экспериментов.

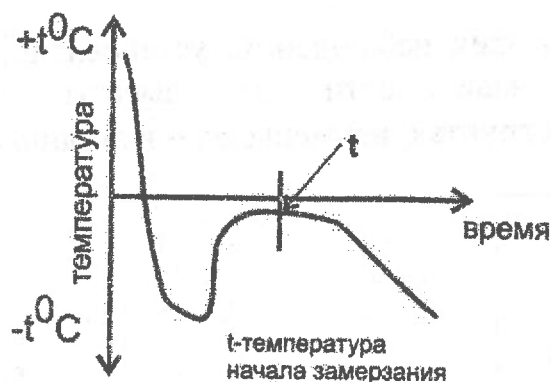
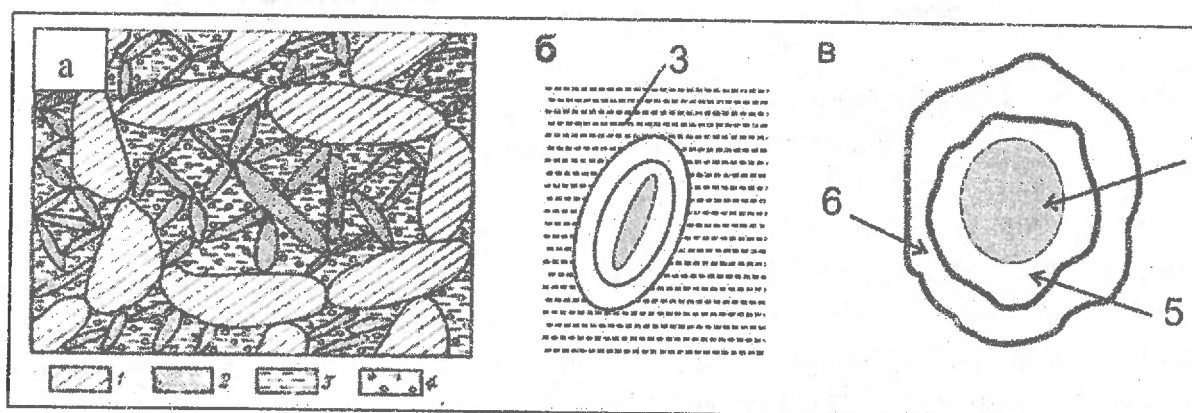


Рис. 3. Кривая по определению температуры заморзания грунта

Согласно разработанной авторами методике, для установления влияния длительности замораживания и последующего оттаивания на прочностные характеристики грунтов были изготовлены образцы – близнецы грунта с заданными свойствами: плотность $\rho=1700 \text{ кг/м}^3$; размер твердых частиц $\phi=0,25 \text{ мм}$; начальная заданная влажность на пределе раскатывания $W=10 \%$ и на пределе текучести $W=20 \%$.



1 – минеральные зерна, 2 – коллоидные частицы, 3 – свободная вода с растворенным газом, 4 – пузырьки газа, 5 – прочносвязанная вода, 6 – рыхлосвязанная вода

Рис. 4. Схема образования связанной воды в структуре грунта:
а – структура многофазного грунта; б – свободная вода вокруг минерального зерна, в – связанная вода вокруг минерального зерна

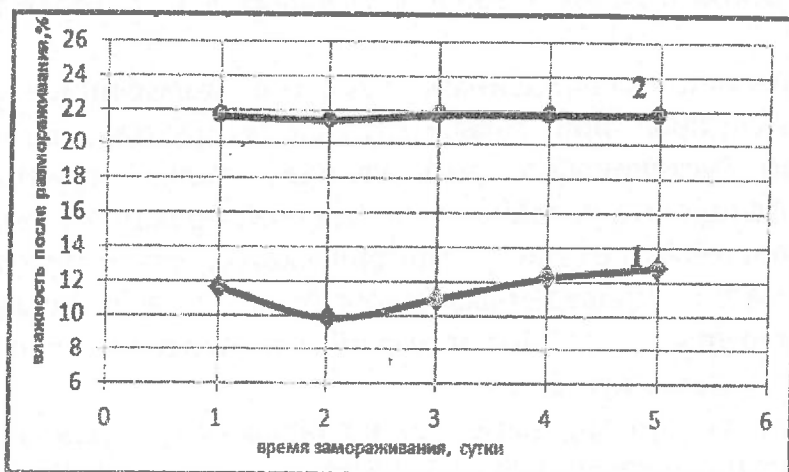
Изготовленные образцы помещали в холодильную камеру при температуре -10°C на время от 24 часов до 5 суток. Первая серия образцов была испытана на сдвиг через одни сутки, вторая – через двое суток, и так до пяти суток. Также определяли влажность грунта после размораживания для каждого образца.

Результаты лабораторных исследований по выявлению влияния замораживания и размораживания грунта на его влажность приведены на рис.

5. По полученным данным установлено, что влажность грунта изменяется в зависимости от времени замораживания в 1,25-3,0 раз.

Результаты по выявлению влияния влажности и продолжительности замораживания на сопротивляемости грунтов сдвигу приведены на рис. 6.

На основании анализа результатов эксперимента установлено, что влажность грунта перед замораживанием оказывает существенное влияние на сопротивляемость сдвигу грунтов и приводит к снижению показателей практически в 2,5 раза.



1- начальная влажность грунта, равная пределу раскатывания грунта 12%

2- начальная влажность грунта, равная пределу текучести грунта 20%

Рис. 5. График зависимости влажности грунта после размораживания от времени замораживания:

Возрастание сопротивляемости сдвигу на вторые сутки замораживания объясняется свойством грунта снижать температуру за счет переохлаждения свободной воды и начала образования кристаллов льда (рис. 6).



1- начальная влажность грунта, равная пределу раскатывания грунта 12%

2- начальная влажность грунта, равная пределу текучести грунта 20%

Рис. 6. График зависимости сдвигающего усилия от времени замораживания

В образцах после замораживания на вторые сутки влажность снижается на 1-2 % от заданного значения и увеличивается сопротивляемость сдвигу на 0,02 МПа, влажность затем медленно увеличивается, а сопротивление сдвигу снижается до первоначальных значений.

На основании анализа результатов лабораторных исследований свойств грунтов и зависимости сопротивляемости сдвигу установлено, что наличие талых грунтов на откосах приводит к массовому нарушению местной устойчивости откосов горных дорог в условиях высокогорья в феврале-марте месяцах.

На основании выполненных расчетов коэффициента устойчивости откосов горных дорог при талых грунтах и грунтах, не подвергавшихся замораживанию, установлено, что наличие талых грунтов приводит к снижению коэффициента устойчивости откосов дорожных выемок на склоне от 30 до 50 % в зависимости от гранулометрического состава грунта.

На основании проведенных лабораторных исследований по оценке влияния температуры на прочностные свойства грунтов и устойчивость откосов дорог на склоне установлено, что:

1. Влажность грунта перед замораживанием приводит к снижению сопротивляемости сдвигу грунтов в 2-2,5 раза.

2. При оттаивании грунтов сопротивление сдвигу зависит от влажности грунта перед замораживанием и снижается: на границе раскатывания 20 %, а на границе текучести – 40 %.

3. На основании проведенных лабораторных исследований оценено изменение свойств оттаявших грунтов на сопротивляемость сдвигу. Установлено, что в оттаявших грунтах сопротивление сдвигу на 20-40 % в зависимости от крупности слагаемых частиц ниже по сравнению с грунтами, не подвергавшимися замораживанию.

4. Местная устойчивость откосов выемок горных дорог на склонах зависит от влажности грунтов перед замерзанием и продолжительности зимнего периода с отрицательными температурами. Коэффициент устойчивости откосов при наличии талых грунтов ниже на 30-50 %.

Список литературы

1. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., Картанбаев Р.С., Сулайманов Н.Ч. Принципы безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации горных дорог. – Бишкек: Илим, 2006. – С.186.

2. Кадыралиева Г.А. Факторы, влияющие на местную устойчивость откосов горных дорог //Современные проблемы механики сплошных сред. – Вып. 12. – Бишкек, 2010. – С.174-181.

3. Методические указания по оценке местной устойчивости откосов и выбору способов их укрепления в различных природных условиях. – М., 1970. – С.73.

4. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936. – С.54.

5. Алексеев С.И. Механика грунтов: Учебное пособие для студентов вузов Петербургский государственный университет путей сообщения. – СПб., 2007. – С.113.

УДК 622.02; 539.3; 622.831.32

К.Т.Тажигаев, Д.К.Тажигаев,
М.С.Акматалиева

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВОГО МОДУЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Была установлена функциональная зависимость между скоростью прохождения поляризованной сдвиговой ультразвуковой волны в твердых материалах и механическим напряжением /3/:

$$\sigma_X = \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1 \right) K_Z; \sigma_Y = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1 \right) K_X; \sigma_Z = \left(\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1 \right) K_Y, \quad (1)$$

где σ_X , σ_Y , σ_Z – нормальное напряжение по X , Y , Z соответственно; K_X , K_Y , K_Z – волновой модуль напряжения (название модуля наше) по направлениям X , Y , Z соответственно; V_{SX} , V_{SY} , V_{SZ} – скорость прохождения через определенную базу нагруженного материала сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны по направлениям X , Y , Z соответственно; V_{SOX} , V_{SOY} , V_{SOZ} – скорость прохождения сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны по направлениям X , Y , Z соответственно при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние).

Зависимость (1) применима для определения как остаточных, так и действующих напряжений. Поскольку K имеет размерность напряжения и определяется по результатам прохождения через твердый материал ультразвуковой волны, данный модуль был назван волновым модулем напряжения.

Для изотропных технических материалов и квазиизотропных горных пород $K_X = K_Y = K_Z = K$. Для анизотропных (слоистых, кристаллических анизотропных) материалов значение волнового модуля напряжения K экспериментально определяется по соответствующим направлениям (например, для направлений вдоль и перпендикулярно слоистости).

Ниже приводится методика измерения скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны и определения волнового модуля напряжения K .

Для измерения скорости распространения сдвиговых (поперечных) ультразвуковых колебаний (УЗК) применялся акустополярископ и специальные

преобразователи, разработанные Ф.Ф. Горбачевым /1, 2/. Преобразователи (излучатель и приемник) имеют пьезопластины поршневого типа из аксиально-поляризованной керамики типа ЦТС и звукопровод. Звукопровод состоит из торцевой и контактной части. На контактной части находится площадка для контакта с образцом. На плоскости, соединяющей (с пьезопластиной) части звукопровода, производится преобразование продольных колебаний в сдвиговые таким образом, чтобы в контактной части звукопровода распространялись только сдвиговые УЗК. Преобразователь излучает интенсивные поляризованные чисто сдвиговые колебания. Частота колебаний преобразователей составляет 0,44 МГц. Для передачи сдвиговых колебаний от преобразователя к образцу в качестве контактной среды, как рекомендовано в работе /1/, нами применялся высоковязкий раствор некристаллизирующихся полисахаридов, изготовленный из искусственного меда. Время прохождения ультразвуковой волны через изучаемую базу материала определялось прибором серийного производства УК-10ПМ в автоматическом режиме с ручным контролем амплитуды первой полуволны (2 см) по картине колебаний на экране электронно-лучевой трубки прибора и отсчетом времени по цифровому индикатору. Для контроля направления поляризации на корпусе преобразователей находится отметка направления вектора поляризации (ВП). Для определения нормального напряжения по какому-либо направлению отметки вектора поляризации излучателя и приемника совмещаются между собой и направлением напряжения. Определение расстояния (базы прозвучивания) между контактными поверхностями образцов производится штангенциркулем с ценой деления 0,1 мм. Точность измерения времени прохождения ультразвуковой волны прибором УК-10ПМ составляет $\pm 10^{-8}$ с.

Значение волнового модуля напряжения K определяется из опытов прозвучивания при нагружениях и разгрузке образцов (рис. 1). Проводится по 5-10 определений K при нагружении и разгрузке образца представительного объема исследуемого материала. Значение K как характеристика образца материала определяется как среднее из 5-10 единичных значений, полученных при прозвучивании в процессе нагружения и разгрузки.

Следует отметить, что K необходимо определять для характерного, представительного объема, так как данный модуль зависит от вещественного состава материала. В связи с этим для экспериментального определения K путем прозвучивания при нагружении было предложено использовать призматические образцы материалов, в том числе горных пород со следующими размерами: 5x5x10 см.; 7x7x14 см (в зависимости от таких структурных параметров материала, как средний размер зерна). Превышение в два раза высоты призмы ее поперечного размера позволяет сводить к минимуму влияние торцевых (контактных) условий передачи нагрузок на напряженное состояние и обеспечивает равномерное распределение напряжений в средней части образца, где для определения волнового модуля напряжения (K) материала проводится прозвучивание поляризованной сдвиговой ультразвуковой волной (рис. 1). Экспериментальное определение

волнового модуля напряжения материала (K) проводится в следующей последовательности:

1. На боковую грань призмы с размерами, указанными выше, в средней части устанавливаются излучатель и приемник сдвиговой волны, совместив их векторы поляризации между собой и с направлением сжимающего напряжения (σ_z);
2. Измеряется скорость прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны при отсутствии нагрузки (напряжения) V_{SOY} ;
3. Ступенчато гидравлическим прессом нагружается призма, и на каждой ступени одноосно сжимающей нагрузки (через каждый 1000 или 2000 кгс нагрузки) определяется скорость прохождения поляризованной сдвиговой волны V_{SY} (рис. 1);
4. Для каждой ступени нагрузки определяется напряжение σ_z , разделив нагрузку (по силоизмерителю пресса) на площадь поперечного сечения призмы;
5. По зависимости (1) определяются значения волнового модуля напряжения K , и среднее значение принимается для дальнейших расчетов.

Измерения скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны и определения значений K можно проводить также и при разгрузке.

На основе определения значений вертикальной компоненты напряжения (σ_z) по силоизмерителю пресса при ступенчатом нагружении призматических образцов и результатов измерений скорости прохождения ультразвуковых сдвиговых поляризованных волн в процессе нагружения и разгрузки (рис. 1) установлено, что для ряда горных пород и технических материалов с разными вещественными составами волновой модуль напряжения K , установленный на основе опытов и формулы (1), имеет существенно различающиеся значения.

Исследования показали, что волновой модуль напряжения таких материалов, как алюминий, пластмасса, органическое стекло, бронза имеет отрицательное значение. Это связано с тем, что V_{SY} – скорость прохождения (через определенную базу) сдвиговой поляризованной волны для этих материалов, например, по направлению Y с увеличением напряжения одноосного сжатия (σ_z) уменьшается и становится меньше, чем V_{SOY} , и по зависимости (1) волновой модуль напряжения K становится отрицательным.

По классической механике сжимающее напряжение (σ_z) имеет отрицательный знак. Значение K связано с особенностью упруго-пластической деформации при сжатии, обусловленной вещественным составом и механическими свойствами этих материалов. Действительно, алюминий, органическое стекло, бронза, пластмасса относятся к материалам с ярко

выраженными пластическими свойствами. Положительное значение волнового модуля напряжения имеется для стали 3, эпоксидной смолы и горных пород.

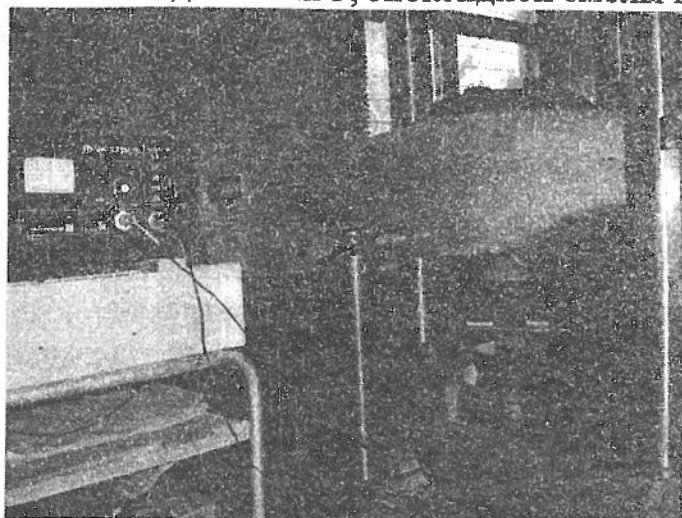


Рис. 1. Нагружение (на прессе ЦДМ-100) и прозвучивание (УК-10 ПМ) призматического образца

На рис. 2, 3 и 4 показано, как изменяется волновой модуль напряжения разных материалов в процессе нагружения. Из рис. 2 видно, что для такого однородного материала, как эпоксидная смола ЭД-6 в пределах упругости модуль напряжения K практически остается постоянным при разных уровнях нагрузки. Для мраморизованного известняка, испытанного вплоть до разрушения, вблизи предела прочности, то есть при напряжении сжатия 120 МПа (разрушение наступило при напряжении сжатия 121,3 МПа), волновой модуль напряжения резко изменяется, а при остальных нагрузках, в пределах упругости, практически остается постоянным (рис. 3). Для некоторых горных пород для разных уровней напряжения волновой модуль может изменяться, хотя эти изменения могут быть монотонными и незначительными (рис. 4). Применительно к таким материалам для повышения точности определения, для расчета напряжения нужно применить индивидуально то значение волнового модуля напряжения K , полученного на уровне напряжения, соответствующего такому же значению скорости сдвиговой волны, какое наблюдалось при первоначальном прозвучивании этого же куска (образца) материала в массиве в нагруженном состоянии. В таких материалах применение для расчетов среднего значения волнового модуля напряжения, полученного как среднее из данных других разных образцов, приведет к значительным погрешностям. В зависимости от требуемой точности для решения инженерных задач усреднение, то есть применение среднего значения волнового модуля напряжения K , допустимо только индивидуально для значений K конкретного одного рассматриваемого образца (базы прозвучивания). Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что волновой модуль напряжения нельзя рассматривать как строго постоянную величину материала для разных

уровней напряжения и разных его кусков (частей), хотя данный модуль имеет свои характерные значения для каждого материала. Данный модуль может служить как характеристика материала подобно модулю деформации, значения которой при разных уровнях напряжения могут изменяться (в начале нагружения и вблизи разрушающей нагрузки) и могут оставаться постоянными (модуль упругости) в пределах упругой деформации. В целом, о том, что волновой модуль напряжения K может служить как характеристика материала, свидетельствует линейный характер изменения относительной величины скорости прохождения поляризованной сдвиговой ультразвуковой волны от напряжения для разных по свойствам материалов в пределах их упругости. Как указано выше, для расчетов принимается среднее значение волнового модуля напряжения конкретно для изучаемой базы прозвучивания (для конкретного образца). После установления значения K и скорости прохождения сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны напряжение (как остаточное, так и действующее) определяется по зависимости 1. Знак напряжений (растягивающий – положительный, сжимающий – отрицательный, как это принято в классической механике) определяется в соответствии со знаком величины K и относительной величины скорости прохождения поляризованной сдвиговой ультразвуковой волны (функциональная зависимость 1).

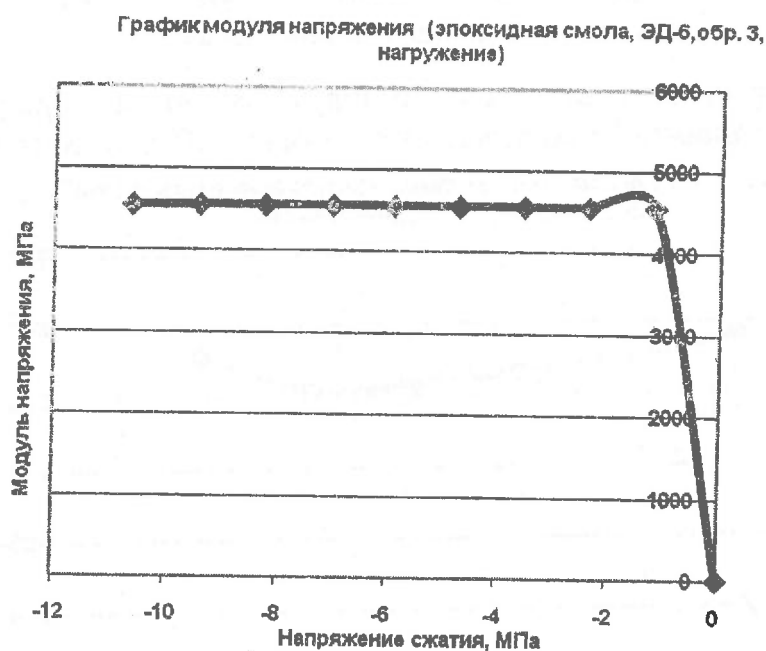


Рис. 2. График значений волнового модуля напряжения при разных уровнях нагрузки одноосного сжатия

При известном значении волнового модуля напряжения, измерив скорости прохождения сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны, можно определять остаточные или действующие напряжения по установленной функциональной зависимости 1. Следует отметить, что действующее напряжение может включать в себя и остаточные напряжения

(при их наличии, например, в породном массиве). В связи с этим остаточные напряжения, при необходимости, определяются отдельно в свободных от внешней нагрузки представительных кусках горной породы, отобранных из места измерения скорости волны в породном массиве. Обычно остаточные напряжения определяются в лабораторных условиях.

График модуля напряжения (мраморизованный известняк, обр.1, нагружение до разрушения)

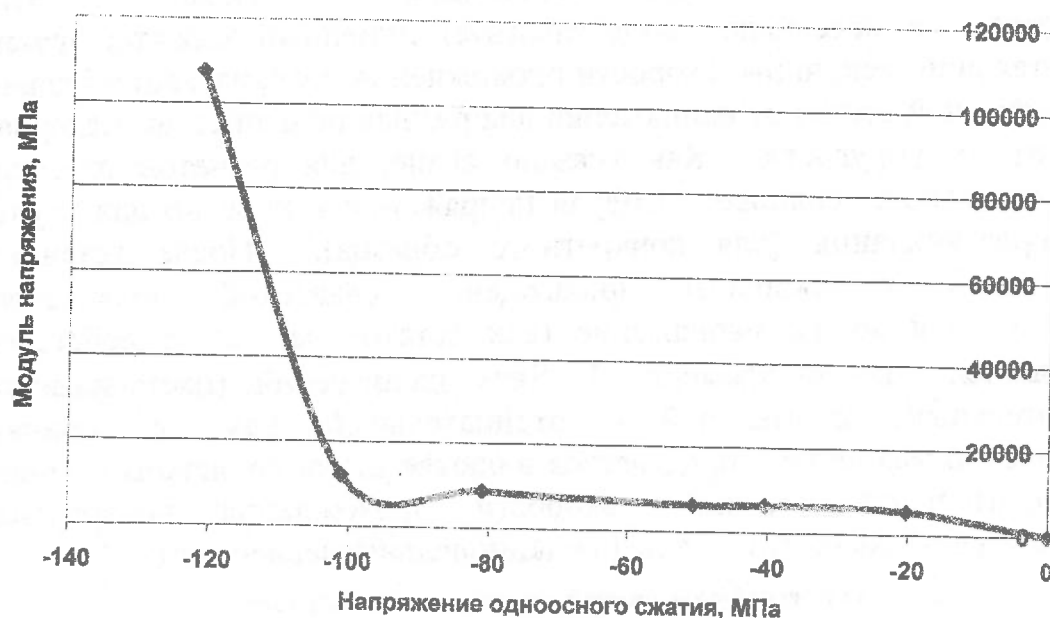


Рис. 10. График значений волнового модуля напряжения при разных уровнях нагрузки одноосного сжатия (мраморизованный известняк, образец № 1)

График модуля напряжения, мрамор мелкозернистый белый (Токтогул, обр. 1-1, нагружение)

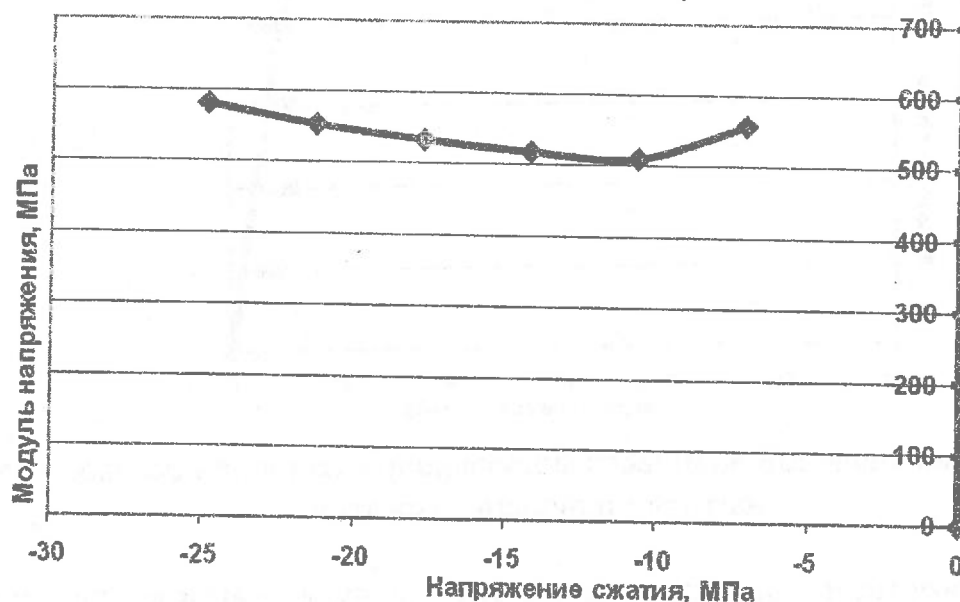


Рис. 11. График значений волнового модуля напряжения при разных уровнях нагрузки одноосного сжатия (мрамор тонкозернистый, Токтогул, образец № 1-1)

Список литературы

1. Горбацевич Ф.Ф. Акустополаризационные измерения характеристик анизотропии горных пород. – Апатиты: Кольский научный Центр РАН, 1985. – 30с.
2. Горбацевич Ф.Ф. Акустополарископия породообразующих минералов и кристаллических пород. – Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2002. – 140 с.
3. Тажибаев К.Т. Закон изменения скорости прохождения поляризованной поперечной ультразвуковой волны от напряжения в твердых материалах и его применение // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2011. – Том 11. – №11. – С. 151-156.

УДК 550.3 (575)

И.А.Торгоев

МЕХАНИЗМ СЕЙСМОГЕННЫХ ОПОЛЗНЕЙ РАЗЖИЖЕНИЯ

Кыргызстан как высокогорная страна уязвим в отношении стихийных бедствий, в особенности, вызываемых эндогенными и экзогенными геологическими процессами. К числу наиболее опасных из них относятся оползни, так как на их долю приходится наибольшее количество погибших (254 жертвы за 1988-2010 гг.), далее в порядке убывания среди геологических катастроф следуют землетрясения (132 жертвы).

Наибольшую опасность среди гравитационных смещений масс на горных склонах представляют собой сейсмогенные оползни, которые возникают при сильных землетрясениях, особенно происходящих в зоне Памиро-Гиндукуша /1/. Сопоставление времени проявления ощутимых ($M > 4,5$) землетрясений Памиро-Гиндукушской зоны со временем возникновения крупных оползней, зафиксированных в период 1969-2010 гг. на кыргызской части территории Тянь-Шаня, показало, что подавляющую часть из восьмидесяти сейсмосинхронных оползней составляют оползни разжижения и оползни-потоки, затем по повторяемости следует реактивизация древних оползней, и, наконец, выявлены сейсмогенные блоковые оползни, приуроченные к зонам активных тектонических разломов /2/.

Глубокофокусные Гиндукушские землетрясения в горах Тянь-Шаня проявляются в виде низкочастотных и продолжительных по времени ($t > 1,5-2$ мин.) сейсмических колебаний, которые в весеннее время на обводненных склонах могут вызывать разжижение суглинисто-песчаных грунтов, сеймопросадку лессов и возникновение оползней-потоков с большой дальностью распространения.

Оползни-потоки составляют две трети от общего числа всех обследованных оползней на территории Кыргызстана. К числу наиболее

катастрофических оползней этого типа, вызвавших гибель 182 человек, относятся следующие: Калдарбай (1973), Сары-Булак (Кок-Жангак, 1976), Кайнар-Булак (1988), Алтынкурек (1988), Кум-Шоро (1988), Жалгыз-Алча (1991), Кара-Таш (1993), Тосой (1994), Комсомол (1994), Кара-Сөгёт (2003), Кайнама (2004), Кёلمё-Сай (2006), Райкомол (1994, 2009).

Под разжижением понимается явление полной или частичной потери грунтом несущей способности под влиянием динамической (например, сейсмической) нагрузки и переход его в текучее состояние, возникающее в результате разрушения структуры грунта. Основным механизмом разжижения, рассматриваемый в механике грунтов как фильтрационное деформирование грунта, – это увеличение порового давления и, как следствие, уменьшение эффективных напряжений. В водонасыщенном массиве грунтов поровая вода (флюиды) в той или иной мере может оказывать на минеральный скелет взвешивающее действие и фильтрационное давление разной направленности, вызываемое фильтрационными объемными силами. Разжижение грунта может произойти во время землетрясения, потому что при прохождении сейсмической волны частицы грунта начинают колебаться с разными скоростями и часть контактов между ними разрывается, в результате грунт может стать на время водой с взвешенными в ней песчинками. Вода стремится отжаться, но прежде чем грунт вернется к первоначальному состоянию, сильно обводненные склоны могут обрушиться.

К числу сейсмогенных оползней разжижения, вызванных Гиндукушскими землетрясениями, относится оползень Сары-Булак, сформировавшийся северо-западнее г. Кок-Янгак (рис. 1). Первые оползневые трещины протяженностью по 100-120 м и глубиной до 3 м возникли в головной части оползня в конце февраля 1974 г. Есть основания предположить, что эти сейсмопросадочные трещины образовались после землетрясения с магнитудой $M=5,4$, произошедшего 22 февраля в зоне Памиро-Гиндукуша на глубине 116 км. Ниже трещин лессовидные грунты просели на 0,5-1,0 м.

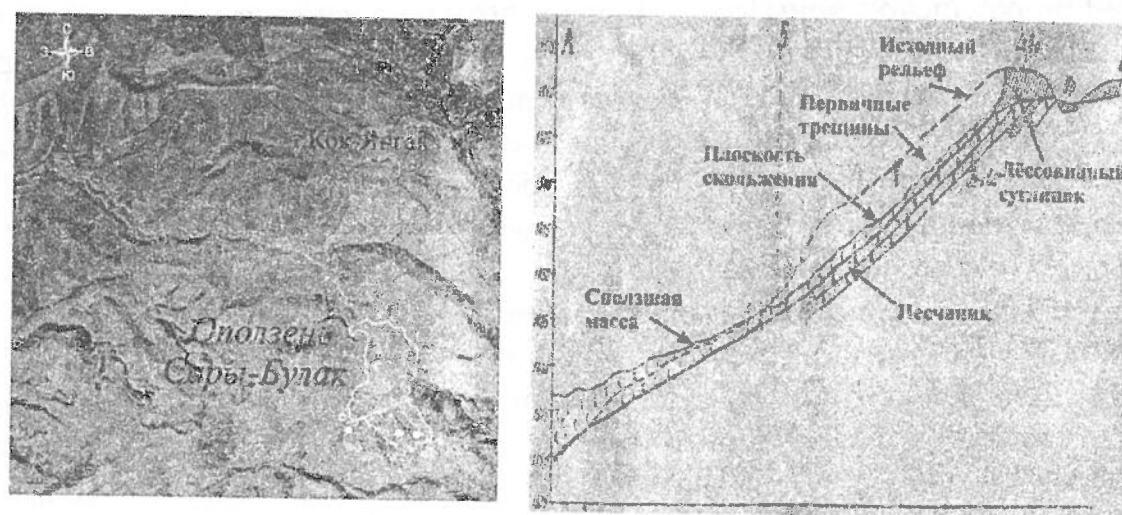


Рис.1. Оползень Сары-Булак в районе города Кок-Янгак

Оползень Сары-Булак возник в лессовидных суглинках со средней мощностью 20 м (рис. 1). В геоморфологическом отношении оползневой участок характеризуется сильной расчлененностью рельефа, где уклоны поверхности варьируют в интервале от 12-14° до 30°. К числу особенностей геолого-тектонического строения района оползня относится наличие здесь тектонических нарушений, отдельные из которых оконтуривают участок с востока, а другие имеют место непосредственно в пределах оползневого участка.

Гидрогеологические особенности оползневого участка во многом предопределяются характером водоносных горизонтов и комплексов, сформировавшихся в юрских отложениях. Подземные воды, приуроченные к ним, имеют напорный характер и трещинно-пластовый тип циркуляции. Разгрузка их во многом обусловлена наличием разломов, непосредственно на участке оползня прикрытых четвертичными отложениями. Дебиты родников, приуроченных к этим водоносным горизонтам, составляли 0,3-2,0 л/с. Важную роль при разгрузке напорных вод юрских водоносных горизонтов сыграло наличие углового несогласия между отложениями юры и четвертичного возраста. Разгрузка подземных вод по этому контакту, обеспечив значительное увлажнение, привела к снижению прочностных параметров пород приконтактной части как подстилающих юрских образований, так и покрывающих их суглинков до предельных их значений и способствовала формированию своеобразной сильно увлажненной зоны скольжения, которая в сочетании с отмеченными уклонами контакта и рельефа привела к возникновению оползня Сары-Булак. Таким образом, основной причиной снижения устойчивости склона явились подземные воды, уровень которых, по данным мониторинга, постоянно поднимался, начиная с 1969 г.

Мониторинг оползневых смещений на реперах, установленных на первоначальных трещинах, показал, что в 1974-1975 гг. расстояния между этими реперами практически не изменялись, за исключением небольших (4-6 см) подвижек в весенние периоды. Весной 1976 г., начиная с апреля, были зафиксированы подвижки, которые вплоть до основного смещения носили нерегулярный характер, когда медленные (1,7-2,0 мм/сутки) или быстрые (8-10 мм/сутки) смещения сменялись перерывами в движении продолжительностью от 10 до 30 дней, а общая величина подвижек с апреля до катастрофической разгрузки оползня 27 ноября 1976 г. составила 0,5 м.

Разгрузка оползня Сары-Булак, скорее всего, была спровоцирована землетрясением с магнитудой $M=6,1$, произошедшим 27 ноября 1976 г в Гиндукуше, на глубине 190 км. Следует отметить, что подавляющее число оползней и оползневых смещений в рассматриваемом районе происходит в весенние месяцы. Сход оползневых масс произошел следующим образом: сначала с шумом и с большой скоростью сползла левая часть склона, которая прошла по днищу ручья Сары-Булак на расстояние более 1 км (рис. 1). О высокой скорости оползневого потока свидетельствует тот факт, что женщина и ребенок, находившиеся в момент обрушения на расстоянии 700 м от стенки

отрыва, не успели отбежать на безопасный участок склона и оказались погребенными под оползнем. Объем первоначально сошедшей оползневой массы составил 2,5 млн м³. Второе смещение, уже в центральной части склона ниже первичных трещин, произошло спустя 3 часа после первого. Оползневые массы мгновенно распространились по дну сая, заполняя на склон в местах его изгиба, разрушая на пути своего движения все постройки. Общий объем сползшей массы достиг 4,5 млн м³, а сами оползшие грунты сразу после схода представляли собой кашеобразную, увлажненную массу повышенной текучести. Общая протяженность оползневого потока на 9 декабря 1976 г. составила 4,5 км (рис. 1), при этом за первый день он продвинулся на 2 км, а в последующие два дня (28-29 ноября) еще на 2 км; с 30 ноября по 9 декабря – еще на 0,5 км. К августу 1977 г. общий объем смещенной массы достиг 8 млн м³.

Чрезвычайно большая дальность распространения оползневых масс, превышающая 4,5 км, объясняется не только крутым уклоном тальвега ручья Сары-Булак, но и разжижением лессовидных суглинков в зоне скольжения, вызванным сейсмическими колебаниями значительной продолжительности от Гиндукушского землетрясения 27 ноября 1976 г. О том, что произошло разжижение суглинков именно в зоне скольжения, свидетельствуют следующие факты: во время основного смещения наблюдался столб пыли, а сразу после смещения, по свидетельству очевидцев, появились фонтаны воды, которые через некоторое время исчезли. Отмечается также, что поверхностная толща оползневых масс находилась в слабо влажном, даже сухом состоянии. После смещения оползня у подножья стенки отрыва обнажились выходы подземных вод, а на поверхности оползневого потока, в понижениях, появились небольшие водоемы, которые постепенно увеличивались в размерах.

В результате геотехнических исследований и испытаний лессовидных суглинков, отобранных из трех скважин (рис. 1) глубиной до 25 м, были получены следующие результаты. По гранулометрическому составу грунты оползневого склона относятся к пылеватым суглинкам: установлено, что содержание пылеватых фракций с размером частиц 0,005-0,05 мм составляет 71,9-85,7 %, песчаной фракции – от 3 до 10 % (при этом преобладают частицы размером 0,5-0,05 мм), содержание глинистых частиц размером меньше 0,005 мм варьирует от 11,3 до 18,1 %. Удельный вес составляет 2,67-2,71 г/см³. Естественная влажность суглинков изменяется по глубине сверху вниз от 7,7 до 30,2 %. Предел пластичности изменяется в диапазоне от 27,6 до 35,4 %, предел текучести – от 18,8 до 23,9 %, индекс пластичности – от 8,8 до 16 %. Пористость в среднем составляет 52 %, что предопределяет их значительную просадочность, которая проявилась на склоне весной 1974 г. Содержание карбонатов находится в пределах 20-25 %. Прочностные параметры грунтов определялись при естественной влажности и в замоченном состоянии. Установлено, что эффективный угол внутреннего трения (ϕ) в насыщенном состоянии изменялся от 23,3° до 26,1°, а эффективное сцепление (C') – от 5 до 10 кПа. По классификации грунтов Казагранде лессовидные суглинки

представляют собой глинистый ил (CL) неорганического происхождения (рис. 2).

Результаты геотехнических испытаний свидетельствуют о том, что описываемый грунт имеет типичные характеристики лессовых пород и может рассматриваться как метастабильный материал, способный к обрушению при определенных условиях на месте. В частности, сильно водонасыщенный лессовидный суглинок может оказаться разжиженным в результате колебаний в ходе землетрясения по причине циклической нагрузки, вызванной восходящим распространением сдвиговых сейсмических волн. Для оценки потенциала разжижаемости лессовидных суглинков, слагающих тело оползня Сары-Булак, на основе полученных результатов геотехнических испытаний была построена диаграмма пластичности для оценки разных типов грунтов, отобранных в оползнеопасных районах Кок-Янгака, Таран-Базара и Майлуу-Суу. Диаграмма представлена на рис. 2 и дает основания считать грунты в окрестностях Кок-Янгака и Таран-Базара как попадающие в пределы зоны потенциального разжижения.

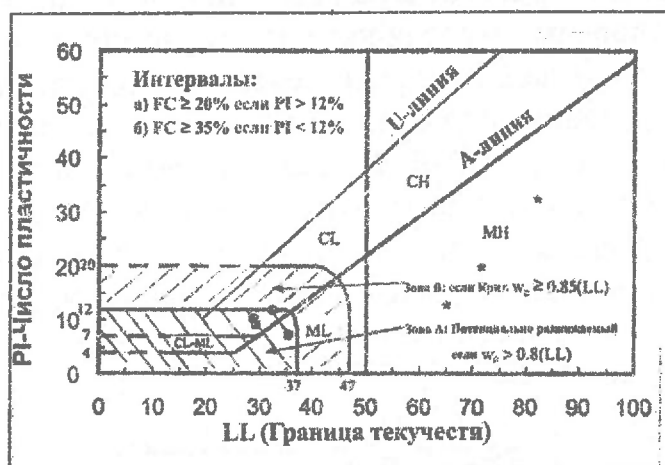


Рис. 2. Диаграмма пластичности для образцов грунта оползневых склонов в Кок-Янгаке, Таран-Базаре (●) и Майлуу-Суу (*)

Для оценки фактической разжижаемости грунтов на разных глубинах залегания была использована методика, базирующаяся на сопоставлении средних напряжений сдвига, вызываемых землетрясением, с напряжениями, вызывающими разжижение грунтов на той или иной глубине.

Средние напряжения сдвига, вызванные землетрясением (τ_{av}), были вычислены с использованием следующей формулы:

$$\tau_{av} = \frac{0,65 \cdot \gamma \cdot h \cdot a_{max}}{g \cdot R_d},$$

где γh – общие нормальные напряжения на рассматриваемой глубине; a_{max} – максимальные ускорения грунта, ожидаемые в районе: $a_{max} = 0.2 g$ для Кок-Янгака и $0.15 g$ для Таран-Базара, g – ускорение свободного падения; R_d – фактор участия нелинейных сдвигов.

Напряжения, вызывающие разжижение, были вычислены с использованием следующей формулы:

$$\tau_1 = \frac{\sigma'_{vo} \cdot \sigma_{dc}}{2 \cdot \sigma_a} * \frac{c_r \cdot D_r}{50},$$

где σ'_{vo} – вертикальные эффективные напряжения; $\sigma_{dc}/2 \sigma_a$ – коэффициент напряжений, вызывающий разжижение и зависящий от магнитуды землетрясений, выраженный в виде выделяющихся циклов напряжений (N_c) и среднего размера зерна (D_{50}) в массиве. Для магнитуды $M=7$, $N_c = 10$ циклам и принимая $D_{50} = 0.03$ мм, коэффициент напряжений равен 0,200; D_r – относительная плотность материала, принятая равной 40%; c_r – поправочный фактор для относительной плотности материала, для $D_r < 50\%$, $c_r = 0,57$.

После вычислений и графического оформления результатов (рис. 3) стало очевидным, что водонасыщенный материал с приведенными выше свойствами является потенциально разжижаемым до глубины 10 м в Таран-Базаре и до глубины в 30 м в Кок-Янгаке, в том числе для участка оползня Сары-Булак.

Оценка устойчивости оползнеопасного склона была выполнена с использованием компьютерной программы SLIDE 4.0. Расчеты применительно к различным условиям моделирования (сочетания влажности, уровня подземных вод, сейсмической нагрузки) показали, что для зафиксированного в момент оползания уровня подземных вод запас устойчивости достигает критического значения ($K_{уст} = 1,0$). В этом случае воздействие сейсмических колебаний с длительностью, характерной для Гиндукушских землетрясений ($t > 1,5-2$ мин) резко снижает $K_{уст}$, что и вызвало обрушение склона в Сары-Булаке, то есть землетрясение стало спусковым (триггерным) механизмом оползания склона.

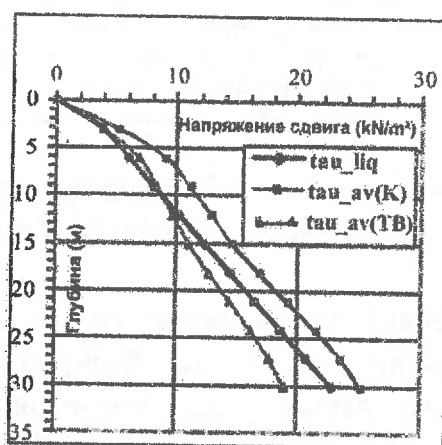


Рис. 3. Потенциал разжижения лессовидных суглинков, отобранных с различных глубин оползня Сары-Булак (К) в Кок-Янгаке и оползня Таран-Базар (TB)

Одной из причин сверхдальнего распространения оползневых масс в сочетании с разжижением стало то, что массы сухих приповерхностных суглинков при столкновении с правым бортом сая (рис. 1) потеряли свою

структуру, раздробились, приняв вид пульпообразного порошка. Одновременно при ударе о борт сая эти массы получили мощный динамический толчок, который способствовал их дальнейшему продвижению со значительной скоростью на большое расстояние по руслу сая.

Список литературы

1. Ниязов Р.А. Оползни Узбекистана (тенденции развития на рубеже XXI века). – Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2009. – 208 с.
2. Torgoev I., Nijazov R., Havenith H.-B. Tien-Shan landslides triggered by earthquakes in Pamir-Hindukush zone // Proceedings of the second world landslide forum. Roma, 2011 (in Press).

УДК 519.68:550.31(04)

Б.А.Чукин, Э.А.Ким, Ю.Г.Алешин

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА «ТЕКТОНИК»

Целью данных исследований является вероятностная оценка устойчивости геотехнического объекта на примере оползневого склона «Тектоник».

Решить вероятностную задачу устойчивости откоса в наиболее общем виде позволяет метод *прямых статистических испытаний (метод Монте-Карло)*. Метод Монте-Карло может быть использован для получения параметров распределения коэффициента устойчивости (математических ожиданий, средних квадратических отклонений и пр., установления плотности распределения вероятностей k_s) для выбранной поверхности скольжения. Согласно ранее выполненным исследованиям, в данном случае количество независимых статистических испытаний может быть ограничено 60-100 реализациями /1, 2/.

Что касается вида распределения вероятностей, то проведенные различными авторами вероятностные расчеты устойчивости методом Монте-Карло показывают, что расчетные распределения коэффициентов устойчивости грунтовых откосов достаточно хорошо аппроксимируются нормальным законом /3/.

Гипотеза о нормальном законе распределения как входных случайных величин (показателей свойств грунтов, параметров нагрузок), так и коэффициента устойчивости k_s позволяет применить для оценки параметров распределения k_s *метод статистической линеаризации* /4/. При этом, для выбранной поверхности скольжения достаточно одной численной реализации уравнения связи, по которому определяется коэффициент устойчивости. Однако особым достоинством метода линеаризации при решении поставленной

задачи является возможность учета «вклада» изменчивости различных входных характеристик на изменчивость коэффициента устойчивости k_s и окончательные оценки вероятностей нарушения устойчивости.

Линеаризация осуществляется в окрестности математического ожидания. Параметры распределения k_s определяются следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} &\text{математическое ожидание} \\ M(k_s) &\approx k_s \{M(x_1), M(x_2), \dots, M(x_n)\}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{среднее квадратическое отклонение} \\ \sigma(k_s) &\approx \left(\sum_i^n [\partial k_s / \partial x_i]^2 \sigma^2(x_i) - \right. \\ &\quad \left. - 2 \sum_{i,j}^n ((\partial k_s / \partial x_i)(\partial k_s / \partial x_j) \sigma(x_i) \sigma(x_j) r(x_i, x_j)) \right)^{1/2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $k_s \{M(x_1), M(x_2), \dots, M(x_n)\}$ – значение коэффициента устойчивости, полученное при математических ожиданиях (средних значениях) величин $x_1, x_2, \dots, x_n$; $\partial k_s / \partial x_i, \partial k_s / \partial x_j$ – частные производные функции k_s по характеристикам x_i и x_j в окрестности точки $\{M(x_1), M(x_2), \dots, M(x_n)\}$; $\sigma(x_i)$ – среднее квадратическое отклонение (стандарт) величины x_i ; $r(x_i, x_j)$ – коэффициент корреляции величин x_i и x_j .

Объектом исследования был выбран оползень «Тектоник». Оползень ограничен с запада руслом реки Майлуу-Суу, с востока – водораздельным хребтом, с севера – зоной обвалных обрушений, с юга – оползневыми уступами и осыпями. Оползень сформировался на крутопадающем крыле антиклинальной складки и разгрузился 4 июля 1992 г. /5/.

Причиной оползания склона явилось сочетание неблагоприятных природных факторов: крутосклонность рельефа, наличие зоны тектонического нарушения, неглубокое залегание водоупора, высокая сейсмичность района, обильное выпадение осадков.

Мы имеем инженерно-геологическую модель с описанием геологии, структуры. Основные свойства грунтов оползневого склона «Тектоник»: плотность, влажность, консистенция, сцепление, угол внутреннего трения. Для выбора расчетных физико-механических свойств грунтов необходимо использование нормативных подходов с учетом имеющихся данных лабораторных исследований грунтов.

Учитывая коэффициент пористости и показатель консистенции, по СНиП 2.02.02-8 «Основания гидротехнических сооружений» /6/ определили нормативные значения прочностных характеристик грунтов.

За математическое ожидание свойств грунтов приняты их нормативные значения. Задаемся коэффициентом вариации для данных грунтов по механическим характеристикам – $v=0,3$. Расчет коэффициента устойчивости по математическому ожиданию C и F_i был выполнен по методу Моргенштерна. Определяем стандартное отклонение σ .

$$\sigma = v \times \bar{A}, \quad (3)$$

где $\bar{A}$ – среднее значение характеристики.

Таблица 1

Стандартные отклонения по C и φ

Слои	$\sigma (C)$, кПа	$\sigma(\varphi)$, град.
Суглинок лессовидный	9,3	7,2
Глина 1	20,4	6
Глина 2	17,1	5,4

Вероятностная оценка устойчивости оползневого склона «Тектоник» методом Монте-Карло производилась путем случайного разыгрывания случайных величин C и F_i . При этом, случайным образом менялись значения C и F_i всех трех слоев одновременно.

На рис. 1 приводится разрез оползневого склона с результатом расчета математического ожидания K_y склона на программе Slide.

Был произведен вычислительный эксперимент на основе генератора случайных чисел, выполненного в среде Excel. Было произведено 80 расчетов, в результате чего выяснилось, что вероятность обрушения склона $P(K_y < 1)$ оказалась равной 0,1625.

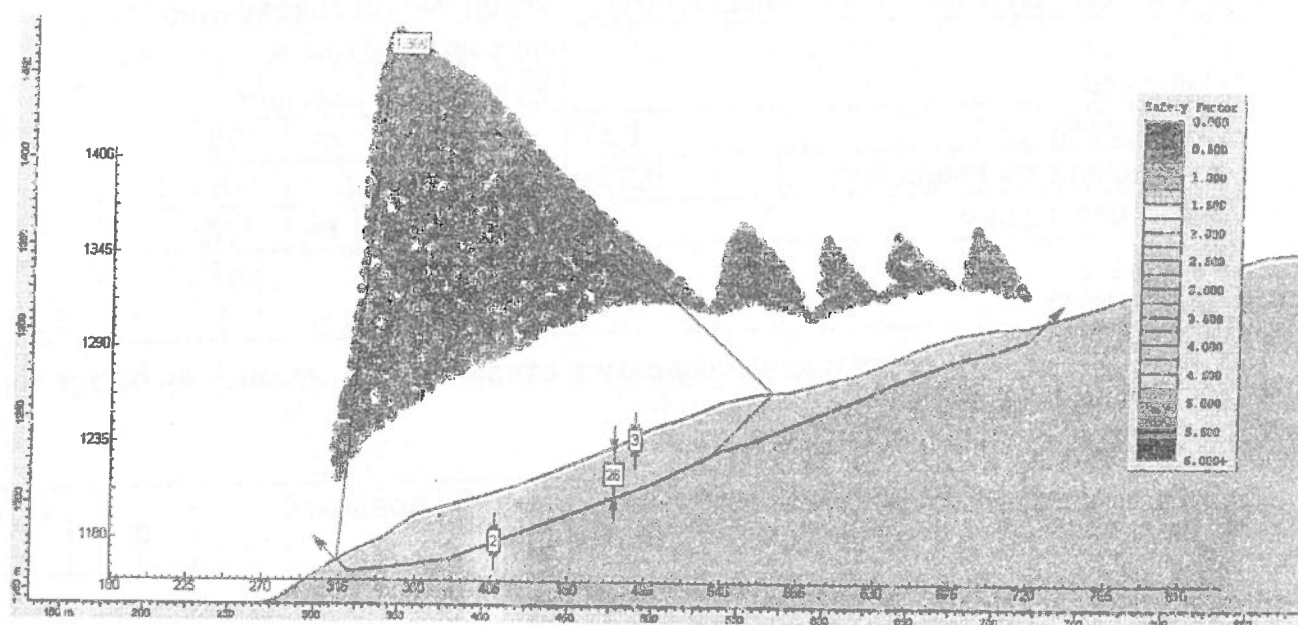


Рис. 1 Результат расчета математического ожидания K_y склона

Описательная статистика для K_y

Таблица 2

Описательная статистика для K_y						
Среднее	1.272	Медиана	1.312	Асиммет.	-0.148	
Стандарт.	0.273	Мода	1.315	Мин.	0.598	
Диспер.	0.074	Экссесс	-0.088	Мак.	1.834	
Число $K_y < 1$	Вероятн. $K_y < 1$	Вероятн. $K_y > 1$				
13	0.1625	0.8375				

Используя критерии χ^2 и Колмогорова-Смирнова, определили, что значения коэффициентов устойчивости подчиняются нормальному закону распределения.

Далее была произведена *интервальная оценка* математического ожидания коэффициента устойчивости, стандартного отклонения и вероятности устойчивости склона. Интервальная оценка необходима для определения надежности определяемых параметров.

Таблица 3
Результаты интервальной оценки параметров распределения K_y

Расчет доверительного интервала $M(K_y)$		при неизвестной дисперсии генеральной совокупности по распределению Стьюдента находим t			
Известны		для $n=$ 79			
средн. $K_y=$	1,27	уровень знач.		0,05	
исправл.среднеквад.откл.	0,273	$t=$ 1,99			
число испытаний	80	$M(K_y)$			
Надежность	0,95	1.21	<	)	< 1,33
Расчет довер. интервала среднеквадратич. отклонения σ нормально распр. K_y по исправл. среднеквад.отклонению S					
Известны		по табл.прилож.4 находим q		$q=$	0,16
число испытаний	80	для $n=$	80		
Надежность	0,95	надежности	0,95		
исправл. среднеквад. откл.	0,273	0,229	<	σ	< 0,31
Интервальная оценка вероятности $K_y < 1$ по результатам расчета K_y методом Монте-Карло					
Известно		опред. аргумент t функции Лапласа			0,475

			$\Phi(t) =$				
число испытаний		80				$t =$	1,96
число $K_y < 1$		13	$n/(t^2+n) =$	0,954	$w(1-w)/n =$	0,0017	$W =$
Надежность		0,95	$T^2/2n =$	0,024	$(t/2n)^2 =$	0,00015	0,163
			0,0975	<	$P(K_y) < 1$	<	0,258

Согласно методу статистической линеаризации математическое ожидание коэффициента устойчивости определяется из условия, что входные величины C и ϕ установлены на значениях математических ожиданий (средних значениях).

В табл. 4 приводятся результаты расчетов по методу статистической линеаризации.

В табл. 5 приводится анализ результатов расчетов, выполненных методом линеаризации. Анализ показал следующее. Значение математического ожидания коэффициента устойчивости по методу линеаризации 1,353 выходит за границы интервальной оценки. Значение стандарта $\sigma(K_y)$, полученного путем увеличения входных факторов (C и ϕ) на величину их стандартного отклонения от математического ожидания, оказалось равным 0,26. Обозначим его $+\sigma(K_y)$, которое отвечает условию интервальной оценки стандартного отклонения.

Значение стандарта $\sigma(K_y)$, полученного путем уменьшения факторов (C и ϕ) на величину их стандартного отклонения от математического ожидания, оказалось равным 0,28. Обозначим его $-\sigma(K_y)$, которое также отвечает условию интервальной оценки стандартного отклонения.

Что касается вероятности обрушения склона $P(K_y < 1)$, то здесь отмечается следующее. Вероятность обрушения, полученная при $+\sigma(K_y)$, составила $P(K_y < 1) = 0,087$, что не отвечает условию интервальной оценки вероятности обрушения склона. Тот же параметр при $-\sigma(K_y)$ составил $P(K_y < 1) = 0,103$. Данное значение находится в допустимых пределах.

Таблица 4

Результаты расчетов по методу статистической линейизации

Результаты расчетов методом линейизации									
Суглинок лессовидный				Глина-1		Глина-2			
С		Fi	С	С	Fi	С	Fi		
кПа		град.	кПа	град.	кПа	град.	кПа		
M(x)	31	24	68	20	20	57	18		
б(x)	9.3	7.2	20.4	6	6	17.1	5.4		
1	31	24	68	20	20	57	18		
2	31	24	68	20	20	57	18		
3	21.7	24	68	20	20	57	18		
4	31	31.2	68	20	20	57	18		
5	31	16.8	68	20	20	57	18		
6	31	24	38.4	20	20	57	18		
7	31	24	47.6	20	20	57	18		
8	31	24	68	26	26	57	18		
9	31	24	68	14	14	57	18		
10	31	24	68	20	20	74.1	18		
11	31	24	68	20	20	39.9	18		
12	31	24	68	20	20	57	18		
13	31	24	68	20	20	57	23.4		
				DF/DC	DF/DC	DF/DC	DF/DC		
				DF/DF	DF/DF	DF/DF	DF/DF		
"б"	0	0.000138889	-0.001519608	0.005556367	-0.005964912	0.043333333	0.043333333		
"б"	0.000107527	0	0.001568627	0.011666667	0.006023392	0.045925926	0.045925926		
				(DF/DF) ² σ ² (φ)	(DF/DF) ² σ ² (φ)	(DF/DF) ² σ ² (φ)	(DF/DF) ² σ ² (φ)		
				(DF/DC) ² σ ² (C)	(DF/DC) ² σ ² (C)	(DF/DC) ² σ ² (C)	(DF/DC) ² σ ² (C)		
				0	0.00096	0.0104	0.054		
				1E-06	0	0.0106	0.061		
				Окончательно получаем	M(Ky)=	1.353	0.087		
					б(Ky)=	0.26	0.103		
					б(Ky)=	0.28	0.103		

Таблица 5

Анализ результатов расчетов, выполненных методом статистической
линеаризации

Результаты по методу линеаризации	Интервальная оценка по методу Монте-Карло	
$M(K_y)=1,353$	1,21	1,33
$-\sigma(K_y)=0,26$	0,23	0,32
$-\sigma(K_y)=0,28$		
$+P(K_y < 1)=0,087$	0.097	0.26
$-P(K_y < 1)=0,103$		

Выводы

1. При вероятностной оценке устойчивости необходимо проводить интервальную оценку, что дает право исследователю самому выбирать то значение вероятности, которое он считает нужным.
2. Сравнительный анализ результатов вероятностной оценки устойчивости оползневого склона «Тектоник» с помощью двух методов показал, что существует сходимость результатов, но не по всем параметрам. Для важных народнохозяйственных объектов рекомендуется использование метода Монте-Карло как основополагающего в вероятностном анализе.

Список литературы

1. Пепоян В. С. Исследование устойчивости откосов грунтовых плотин методом Монте-Карло // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. – М., 1987. – Т.202. – С. 35-38.
2. Расчет устойчивости откосов методов Монте-Карло / Н.С.Розанов, Л.В.Горелик и др. // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Оценка и обеспечение надежности гидротехнических сооружений / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – М., 1981. – С. 55-58.
3. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983.
4. Torgoev I.A., Aleshin Y.G., Meleshko A.B., Havenith H.B. Hazard mitigation for landslide dams in Mailuu-Suu valley / Security of Natural and Artifical Rockslide Dams. – Bishkek, 2004 – p.p. 183-188.
5. Алешин Ю.Г. – Ответ. исп. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на участие оползня «Тектоник», угрожающем хвостохранилищу №3 – Майлуу-Суу – Бишкек, 2004 – 65с., Приложение 16. – Фонды ОРП МЧС КР.
6. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений.

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ СНОВАЛЬНОЙ ПАКОВКИ НА НАТЯЖЕНИЕ НИТЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗМОТКИ В ЗОНЕ МЯГКОЙ ПРЯЖИ ШЛИХТОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Известно, что при неравномерной плотности намотки сновальной паковки появляются непостоянные условия схода нитей со сновальных валиков в процессе шлихтования. Это вызвано тем, что тело намотки имеет в радиальном направлении неодинаковую деформацию /1/.

Анализ и оценка современных партионных сновальных машин отечественных и передовых зарубежных фирм показал, что современные сновальные машины не обеспечивают постоянства плотности намотки пряжи в отдельных слоях основы /2/.

Например, партионная сновальная машина мод. *DW* фирмы «Барбер-Кольман» (США) предназначена для снования пряжи любого волокнистого состава с конических или цилиндрических бобин крестовой намотки. Рабочая ширина 1870 мм; скорость снования 364, 546, 455, 822 м/мин, максимальный диаметр намотки 990 мм, привод сновального валика гидравлический, мощность тягового электродвигателя 13,3 кВт. Машина оснащена счетчиком метража и обычным механизмом уплотнения намотки сновального валика. В намоточных системах указанной машины отсутствует регулятор плотности намотки.

У партионной сновальной машины фирмы «*Sucker-Muller-Hakoba*» (ФРГ) рабочая ширина 1400-2800 мм; скорость снования 1000-1500 м/мин, диаметр фланцев 800...1400, рассадка фланцев 1400...2800, диаметр ствола 280. В работе /2/ отмечается, что в партионных сновальных машинах передовых зарубежных фирм установлены надежно работающие мощная тормозная система и сигнальная система останова машины при обрыве нити, которые обеспечивают при максимальной скорости снования тормозной путь в пределах 3,5 м перемещения основы. Это позволяет избежать заматывания оборванного конца нити на сновальный валик при экстренном торможении машины и, тем самым, исключить нарушение структуры намотки основы на валике при обрыве нити. Тем не менее, различные исследования, проведенные в этой области, на сегодняшний день с сожалением констатируют, что получение тела намотки с постоянной плотностью в радиальном направлении – задача еще нерешенная.

В партионной сновальной машине типа 300 фирмы «*Mcloy-Ellison Inc*» (США) скорость снования составляет 1371 м/мин. Машина имеет программируемый привод, что позволяет управлять всеми функциями сновальной машины. Она оснащена гидравлической системой установки сновального валика на стойку, микропроцессором, позволяющим программировать систему торможения /1/.

Автоматическое управление различными технологическими параметрами с помощью последних передовых научных разработок – это общая практика для таких компаний текстильного машиностроения, перечисленных выше. Однако,

имея дело со сложным намоточным устройством, таким, как сновальная машина, пока не удастся обеспечить надлежащее качество работы механизма регулирования плотности намотки в напряженных технологических режимах процесса снования.

К сожалению, указанные фирмы не приводят более детальных технических характеристик предлагаемого оборудования, и не совсем ясно, на что способны указанные машины в производственных, эксплуатационных условиях. Машина типа 300 имеет обычный механизм уплотнения намотки сновального валика, что говорит о том, что проблема стабилизация плотности намотки еще не решена.

То же самое можно сказать о партионных сновальных машинах типа СП-140 (СП-180), выпускаемых в России. У этих образцов также отсутствуют авторегуляторы плотности намотки.

Даже при одной и той же скорости сновки в начале намотки плотность значительно выше, а в конце имеет минимальное значение. Экспериментально установлено /2/, что при одной и той же скорости сновки разница в плотности намотки сновальных валиков машин типа СП-140 (СП-180) колеблется довольно широких пределах – до 14,3 %.

Такие компании, как «Benninger» (Швейцария) и «Kobo» (Чехословакия), также производят партионные безбарабанные сновальные машины /1, 3/.

Принцип работы механизма уплотнения сновальной машины фирмы «Benninger» (Швейцария) и сновальной машины типа 2200 фирмы «Kobo» (Чехословакия) аналогичен механизмам уплотнения российских партионных сновальных машин. Поэтому недостатки уплотнительной системы отечественной машины СП*180 присущи и машинам фирм «Benninger» и «Kobo».

Все перечисленные безбарабанные партионные сновальные машины зарубежных фирм, обладая определенными достоинствами, имеют существенный недостаток, а именно в виде уплотнительных систем, не позволяющих точно регулировать плотность намотки сновального валика. Приведенные преимущества этих машин, в основном, носят рекламный характер /1/, не подтвержденный результатами длительной эксплуатации в напряженных производственных условиях.

ВЫВОДЫ

Одним из главных требований, предъявляемых к процессу размотки сновальных валиков, является обеспечение постоянства натяжения основы. Для соблюдения этого условия необходимо использовать регуляторы натяжения нитей на стойках сновальных валиков. А для обеспечения равномерной плотности намотки сновальной паковки в радиальном направлении предлагаем на сновальных машинах монтировать авторегуляторы плотности намотки.

Таким образом, многие вопросы по совершенствованию процесса сматывания нитей со сновальных валиков должны решаться в комплексе с совершенствованием процесса снования.

Список литературы

1. Джаманкулов К. Стабилизация процессов наматывания и сматывания пряжи в сновальных и шлихтовальных машинах: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома: КТИ, 1990. – 442 с.
2. Оников Э.А. Анализ и оценка современных партионных сновальных машин передовых зарубежных фирм //Текстильная промышленность. – М., 2007. – № 6-7. – С. 20-24.
3. Партионная сновальная машина фирмы «Benninger» (Швейцария) мод. ZE-K. – Реф. журнал «Легкая промышленность». – 1984. – № 5. – С. 28.

УДК 622:831

К.К.Абдылдаев

ОБОСНОВАНИЕ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Впервые вопрос устойчивости упругих тел был рассмотрен Эйлером, который получил дальнейшее развитие в работах Лагранжа. При этом сущность подхода Эйлера-Лагранжа заключалась в том, что потеря устойчивости упругих тел отождествляется с возникновением новых форм равновесия, близких к исходному, т.е. бифуркацией решения статистической задачи.

В горном деле, большой интерес при проектировании геотехнических систем представляют вопросы исследования устойчивого состояния равновесия породного массива как вблизи подземных горных выработок, так и открытых обнажений, так как результаты исследования позволяют понять процессы, происходящие в массиве и правильно оценить геомеханическую ситуацию вокруг этих выработок.

В настоящее время в мире разработаны и используются многочисленные методы оценки устойчивости бортов карьеров и отдельных откосов /1-5/. При этом имеются различные их классификации, построены графики и номограммы, составлены таблицы, облегчающие вычисления. Различны также подходы относительно формы и расположения в прибортовом массиве поверхности потенциального скольжения, которыми могут быть структурные особенности массива, тектонические нарушения, крупные трещины, поверхности контакта пород с различными физико-механическими и прочностными свойствами, а также поверхности стока грунтовых или подземных вод.

Большинство расчетных методов основано на представлении о горных породах как об идеально сыпучей среде, базирующейся на условиях предельного равновесия Кулона:

$$|\tau_n| = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + k, \quad (1)$$

где $|\tau_n|$ и σ_n — соответственно касательное и нормальное напряжение по заданной площадке, н/м²; $\operatorname{tg}\varphi$ — коэффициент внутреннего трения.

Решение задач осуществляется обычно двумя методами:

- предельного напряженного состояния;
- предельного равновесия.

Первая группа методов применима при случаях, когда условие предельного равновесия удовлетворяется лишь по некоторой внутренней границе массива (поверхности скольжения). Они также теоретически наиболее обоснованны, но для реальных массивов горных пород условие предельного напряженного состояния не выполняется. Введение в расчет характеристик прочности, уменьшенных в n раз, где n — коэффициент запаса прочности, приводит к тому, что откос, находящийся в допредельном состоянии, рассчитывается методами предельного напряженного состояния.

Эти методы решения неприменимы также для породных массивов, у которых поверхности ослабления не совпадают с поверхностями скольжения. При этом получаемая вогнутая поверхность откоса с вертикальной стенкой в верхней части экономически нецелесообразна и практически неосуществима. Обычно это приводит к необходимости выколаживания откоса, в результате чего теряется основное необходимое достоинство методов — их точность. Также следует отметить, что использовать методы в большинстве случаев бывает затруднительно вследствие большой трудоемкости расчетов (за исключением некоторых случаев, когда решения доведены до состояния таблиц и номограмм). Еще одним видом идеальной среды является идеально связная, характеризующаяся только сцеплением. По своим свойствам к этой среде наиболее близки пластичные глины.

Горные породы при нагружении во многом подобны сыпучей среде, обладающей внутренней связностью. Кроме этого, они имеют внутренние поверхности ослабления, а также способны воспринимать растягивающие напряжения. Вследствие этого горные породы наиболее реально рассматривать как сложную трещиноватую среду, к которой в механическом отношении применимы законы сыпучей среды. Разработанные на основе этой модели методы предельного равновесия нашли наиболее широкое распространение и применение.

Обычно оценка устойчивости откосов сводится к определению коэффициента запаса устойчивости для потенциальной поверхности скольжения. Коэффициент запаса устойчивости оценивается отношением суммы удерживающих сил (напряжений) к сумме сдвигающих сил (напряжений). Неустойчивость возникает тогда, когда сдвигающее усилие (напряжение), вызванное гравитацией, равно или больше удерживающего усилия (напряжение), определяемого за счет прочности пород на сдвиг. При этом формы поверхностей скольжения могут быть кругло цилиндрическими или плоскими. В некоторых случаях могут встречаться комбинации из круглоцилиндрических и плоских участков, а также иных поверхностей скольжения. Круглоцилиндрические поверхности скольжения обычно

реализуются в однородных породах. При этом смещение массива рассматривается как вращение «жесткого клина» вокруг оси, параллельной простиранию откоса и выступающей как ось тела вращения, поверхность которой и является осью скольжения. Если принять, что породный массив — среда изотропная, то сначала необходимо определить положение потенциальной поверхности скольжения, затем по ней проверяется устойчивость откоса. В анизотропных и нарушенных породных массивах поверхность скольжения обычно фиксировано (заранее предопределена горно-геологическим строением массива), поэтому расчеты сводятся только к определению коэффициента устойчивости откоса.

Оценка устойчивости обнажений породного массива в настоящее время осуществляется в двух направлениях. Первое направление связано с дальнейшим обоснованием и совершенствованием инженерных методов расчета цилиндрических и плоских поверхностей скольжения. Второе — разработка методов, базирующихся на определении напряженно-деформированного состояния массива с применением различных математических моделей сред, и нахождение формы и положения вероятных поверхностей скольжения на основе вариационных принципов.

Практически все расчеты устойчивости основаны на концепции предельного пластического равновесия. При этом в большинстве методов используется только статистический подход на основе традиционных моделей сред. Для оценки устойчивости состояний породного массива вблизи выработок традиционных моделей недостаточно. Например, при идеальной пластичности переход к горизонтальным участкам происходит в момент достижения предела текучести. В этом случае должна произойти потеря устойчивости, но практика этого не подтверждает, так как породы на контуре выработок не разрушаются вплоть до исчерпания предельных пластических деформаций. В случае падающей диаграммы деформация $\Delta \epsilon$ продолжается при снижающемся напряжении. На этом участке дополнительное напряжение $\Delta \sigma$ выполняет отрицательную работу, т.е. $\Delta \sigma \times \Delta \epsilon < 0$ — неустойчивость [6], но процесс вполне устойчив. Если в массиве существуют трещины, то в кончике трещины при некотором увеличении ее роста напряжение достигает максимальной величины, затем при дополнительном приращении трещины напряжение стремится к нулю. Хотя в этом случае процесс происходит за пределом прочности, но признаки проявления неустойчивости всей системы не наблюдаются. Все эти примеры иллюстрируют то, что устойчивость определяется условиями нагружения и не всегда определяется положением точки на предельном графике деформирования пород.

При оценке устойчивости нами первоначально решается геомеханическая задача с использованием одной из моделей сред [7] с учетом нетронутого состояния массива и прочностных и деформационных свойств пород. При этом находятся поля напряжений и деформаций вокруг выработок, устанавливаются зоны разрушения, зоны пластических деформаций и зоны упругости. Если зона разрушения полностью или частично охватывает контур выработки, порода,

заключенная в этой зоне, неустойчива. Если вокруг выработок возникает зона пластических деформаций и, хотя эта зона полностью захватывает контур, это еще не означает, что породный массив неустойчив. В этих и других случаях при оценке состояния породного массива необходимо определить коэффициент запаса устойчивости. Для этого в каждом элементе массива строятся изолинии ω :

$$\omega = \tau^{\text{пр}}_{\beta} - \tau_{\beta},$$

где β – угол между нормалью N площадке и направлением напряжения σ_i ; $\tau^{\text{пр}}_{\beta}$ – предельные касательные напряжения на площадке, определяемые по паспорту прочности; τ_{β} – расчетные значения, полученные на основе решения нелинейной задачи.

Затем на изолинии с минимальным значением ω определяем коэффициент запаса устойчивости по формуле

$$K = \sum_{i=1}^m \{ \text{tg} \varphi_i [\sigma_{1i} (1 + \sin \varphi_i) + \sigma_{3i} (1 - \sin \varphi_i)] + 2C_i \} / \sum_{i=1}^m (\sigma_{1i} - \sigma_{3i}) \cos \varphi_i$$

где m – количество элементов, через которые проходит линия с минимальным значением ω ; C_i , φ_i – расчетные характеристики сцепления и угла внутреннего трения; i – разновидности пород, $C_i = C_i / K'$; $\text{tg} \varphi_i = \text{tg} \varphi / K'$, K' – нормативный, заранее вводимый коэффициент запаса.

Состояние равновесия породного массива вблизи обнажений считается устойчивым, если $K > 1$, в противном случае (при $K < 1$) – неустойчивым. Разработанный на основе численного метода конечных элементов и реализованный на компьютере способ оценки состояния породного массива позволяет решать широкий класс задач горного производства.

Список литературы

1. Stability modeling with SLOPE/W/ An Engineering Methodology/ Geo-Slope International Ltd. Canada 2007.
2. Галустьян Э.Л. Методы оценки устойчивости откосов нагорных карьеров // Горный журнал. – 2002. – № 11-12. – С. 9-12.
3. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.
4. Тентиев Ж.Т., Мекенбаев Б.Т., Кожахметов К.Х. расчетные методы оценки устойчивости откосов, – Бишкек, 2000. – 163 с.
5. Усманов С.Ф. Прогнозирование устойчивости бортов высокогорных карьеров на основе моделирования напряженно-деформированного состояния / КРСУ. – Бишкек, 2009. – 172 с.
6. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1988.
7. Абдылдаев Э.К. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород вблизи выработок. – Фрунзе: Илим, 1990. – 164 с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУЦИРОВАННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ СУБРА

Рассмотрены энергетические характеристики индуцированной сейсмичности шахтных полей 14-14 бис и 15-15 бис Североуральского бокситового рудника с целью оценки потенциальной удароопасности пород и максимально возможной энергии горных ударов.

Североуральский бокситовый рудник (СУБР), являющийся одним из наиболее удароопасных месторождений СНГ, характеризуется высоким уровнем индуцированной сейсмичности. Первые горные удары на СУБРе были отмечены в 1972 году. Средняя глубина горных работ на руднике в это время составляла около 300 метров. Сейсмостанция «Североуральск» введена в эксплуатацию на руднике в 1979 году. Она регистрирует сейсмические события в диапазоне частот 1-50 Гц, происходящие в пределах шахтных полей № 14-14 бис и № 15-15 бис, являющихся наиболее удароопасными на СУБРе. Энергетический диапазон регистрируемых явлений составляет 10^2 – 10^9 Дж.

Информационной базой исследований являлся каталог сейсмических событий, зарегистрированных сейсмостанцией «Североуральск» в период с 01.01.84 г. по 20.02.91 г. Анализируемый каталог содержит сведения о более чем 7000 событий, происшедших в пределах шахтных полей шахт № 14-14 бис и № 15-15 бис. По своей структуре каталог сейсмических событий СУБРа соответствовал принятой в сейсмологии регистрации и содержал следующие данные по каждому регистрируемому событию: дату (год, месяц, число), время по Гринвичу (часы, минуты), относительные координаты X,Y,Z гипоцентра, величину сейсмической энергии.

Совокупной энергетической характеристикой сейсмичности является распределение числа сейсмических событий по энергии, или энергетический спектр. Ввиду чрезвычайно широкого энергетического диапазона сейсмических событий, составляющего несколько порядков, обычно рассматривается зависимость числа сейсмических событий от логарифма энергии или от их энергетического класса:

$$N_i = f(\lg W_i) = f(K_i), \quad (1)$$

где N_i – число событий в интервале энергий; W_{i-1} – W_i , K_i – энергетический класс.

На рис. 1 показаны энергетические спектры индуцированной сейсмичности шахтных полей № 14-14 бис (а) и № 15-15 бис (б) СУБРа, полученные путем сортировки событий по энергии. Распределения имеют выраженный максимум для событий 3-го энергетического класса, спадающий в области меньших и больших энергий. Данный вид распределения объясняется, с одной стороны, пропусками слабозенергетических событий, конечной чувствительностью системы регистрации, с другой, естественным дефицитом высокоэнергетических сейсмических событий вследствие того, что крупные

трещины образуются путем слияния некоторого числа меньших по размеру. Соответственно, число сейсмических событий закономерно уменьшается с увеличением их энергии.

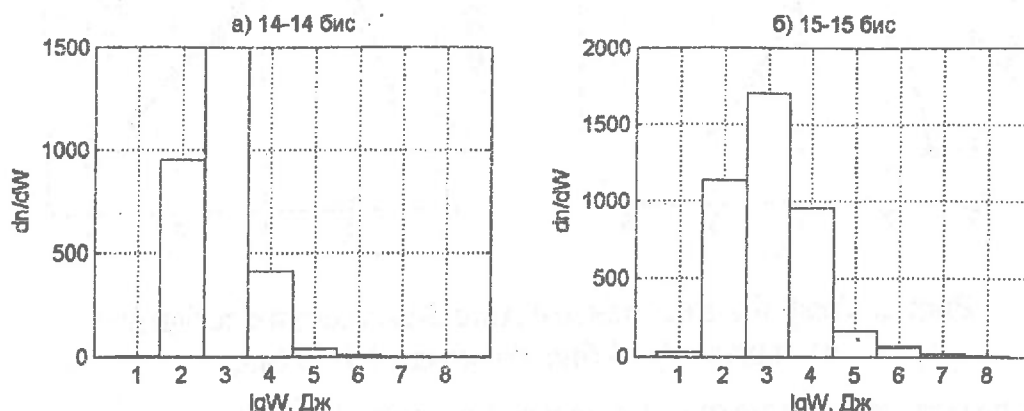


Рис. 1. Энергетические спектры индуцированной сейсмичности:
а) шахта 14-14 бис, б) шахта 15-15 бис

Одной из важнейших зависимостей в сейсмологии является аналогичное распределение числа сейсмических событий по энергии (магнитуде) или, иначе, график повторяемости землетрясений. В отличие от рассмотренного энергетического спектра сейсмических событий, эта зависимость строится в двойных логарифмических координатах

$$\lg N_i = A - \gamma \lg W_i, \quad (2)$$

так как $\lg W = K$, где K – энергетический класс сейсмического события.

$$\lg N_i = A - \gamma K_i. \quad (3)$$

Отрицательная величина углового коэффициента γ графика повторяемости объясняется уменьшением вероятности сейсмических толчков по мере увеличения их энергии. Величина коэффициента γ зависит от свойств среды и закона деформирования (нагружения), при котором реализуется разрушение [1]. Зависимости (2) и (3) имеют универсальный характер и справедливы в широком диапазоне энергий актов разрушения, включая процессы трещинообразования (акустическая эмиссия), горные удары (сейсмоакустика) и землетрясения. В ряде работ отмечалось уменьшение крутизны графика повторяемости перед сильным землетрясением [2, 3] и заключительным макроразрушением лабораторных образцов на прессе [1, 4], чему придавалось прогностическое значение.

Графики повторяемости сейсмических событий для шахт № 14-14 бис и № 15-15 бис показаны на рис. 2. Ниспадающая область графиков аппроксимируется линейной зависимостью вида

$$\lg N = N_0 - \gamma \lg W, \quad (4)$$

построенной методом наименьших квадратов, где N_0 – число событий нулевого класса. Соответствующие уравнения регрессии приведены на графиках.

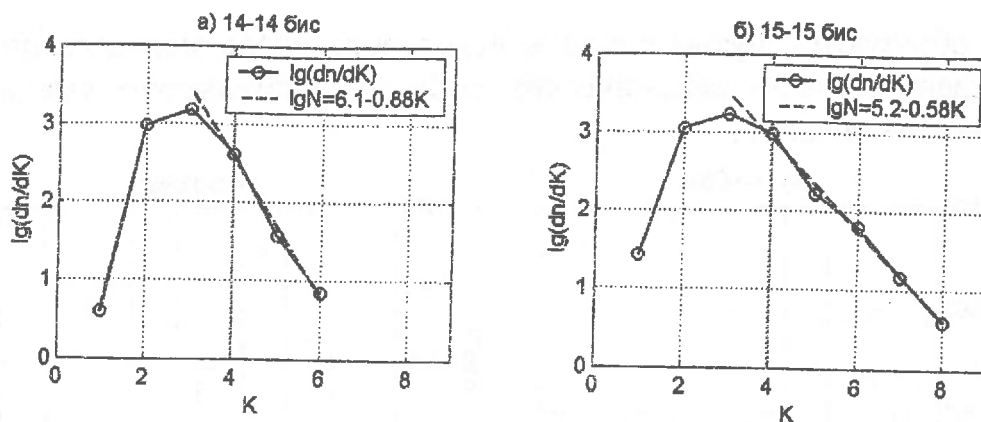


Рис. 2. Графики повторяемости сейсмических событий:
а) шахта 14-14 бис, б) шахта 15-15 бис

Как видно, зависимости отличаются величиной углового коэффициента γ , который равен -0.88 для шахты № 14-14 бис и -0.58 для шахты № 15-15 бис, соответственно. Различия объясняются энергетическим составом сейсмических событий, происходящих на данных шахтах. Если в энергетическом спектре шахты №14-14 бис преобладают события с энергией меньше 10^4 Дж, то для шахты №15-15 бис нередкими являются события с энергией более 10^5 Дж. Следовательно, крутизна графика повторяемости отражает потенциальную удароопасность данной территории, данного шахтного поля и может служить ее количественной характеристикой. Это представляется вполне закономерным, поскольку сейсмичность и удароопасность региона, являясь интегральными проявлениями склонности пород данной территории к хрупкому динамическому разрушению, зависят от структуры и свойств пород, их напряженно-деформированного состояния, горнотехнических условий разработки и других факторов. Очевидно, пологий график повторяемости характерен для удароопасной территории, и, напротив, более крутой график свидетельствует о менее опасной ситуации по динамическим проявлениям горного давления.

Таким образом, крутизна графика повторяемости может служить количественной характеристикой потенциальной удароопасности различных регионов (шахтных полей). Разумеется, это замечание относится и к различным периодам времени для одной и той же территории, если ее сейсмичность или удароопасность изменяются с течением времени.

Несмотря на то, что в силу конечной чувствительности реальных сейсмометрических систем регистрации существуют пропуски событий с менее K_{min} , события с большей энергией регистрируются без пропусков. Поэтому крутизна γ графика повторяемости, построенного для событий с $K > K_{min}$, является характеристикой, инвариантной в аппаратурном отношении, которая может рассматриваться как одна из основных прогностических характеристик сейсмичности.

Приравняв к нулю левую часть уравнений регрессии, аппроксимирующих графики повторяемости в области представительных энергетических классов

сейсмических событий, достаточно просто оценить максимальный энергетический класс событий,

$$K^* = N_0 / \gamma. \quad (5)$$

Данный параметр имеет ясный физический смысл и может наряду с величиной γ рассматриваться в качестве еще одного прогностического параметра индуцированной сейсмичности. Вычисляя K^* для текущей реализации процесса, становится возможным прогнозировать энергию максимального ожидаемого сейсмического события в темпе поступления информации.

Временные вариации величин K^* и углового коэффициента γ в течение всего периода наблюдений приведены на рис. 3, б, в для шахты № 14-14 бис, и 4, б, в – для шахты № 15-15 бис. На верхних графиках этих рисунков показаны временные ряды событий с энергией более 9000 Дж, которые при вычислении K^* и γ анализировались скользящей выборкой постоянного объема с взаимным перекрытием. Объем выборки составлял 32 событий, взаимное перекрытие – 31 событие.

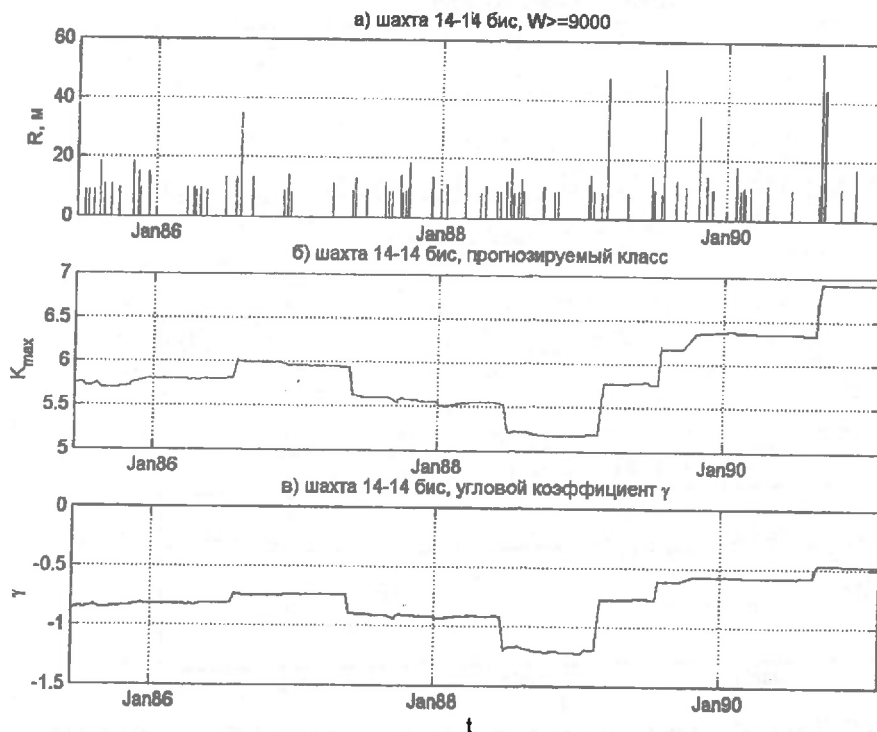


Рис. 3. Шахта 14-14 бис: а) временной ряд СЯ с энергией более 9000 Дж, б) изменение максимального ожидаемого энергетического класса события K^* , в) изменение углового коэффициента графика повторяемости

Приведенные зависимости для шахт № 14-14 бис и № 15-15 бис отличаются как качественно, так и количественно. Прежде всего, эти отличия относятся к средним долговременным значениям этих величин, которые заметно ниже для первой из двух шахт. Очевидно, они обусловлены различным энергетическим составом СЯ, происходящих на участках этих шахт. Так, за

время наблюдений на участке шахты 14-14 бис произошло лишь несколько событий 6 класса, в то время как за аналогичный период на шахте 15-15 бис зарегистрировано несколько десятков событий сильнее 6-го класса, среди которых 4 события 8-го класса.

Другие отличия зависимостей связаны с их более монотонным характером для шахты 14-14 бис по сравнению с шахтой 15-15 бис. По всей видимости, причины различий изменений K^* и γ для смежных в пространстве шахтных полей кроются не столько в свойствах горных пород, сколько в структуре породного массива, его естественной тектонической нарушенности, местных особенностей геодинамической ситуации, сложившейся в результате добычи бокситов в пределах этих полей, определивших уровень и распределение действующих сил. Перечисленные причины объясняют характерные особенности и различную интенсивность диссипации упругой энергии в пределах данных шахтных полей, которые проявляется на энергетических параметрах индуцированной сейсмичности в динамике ее изменений.

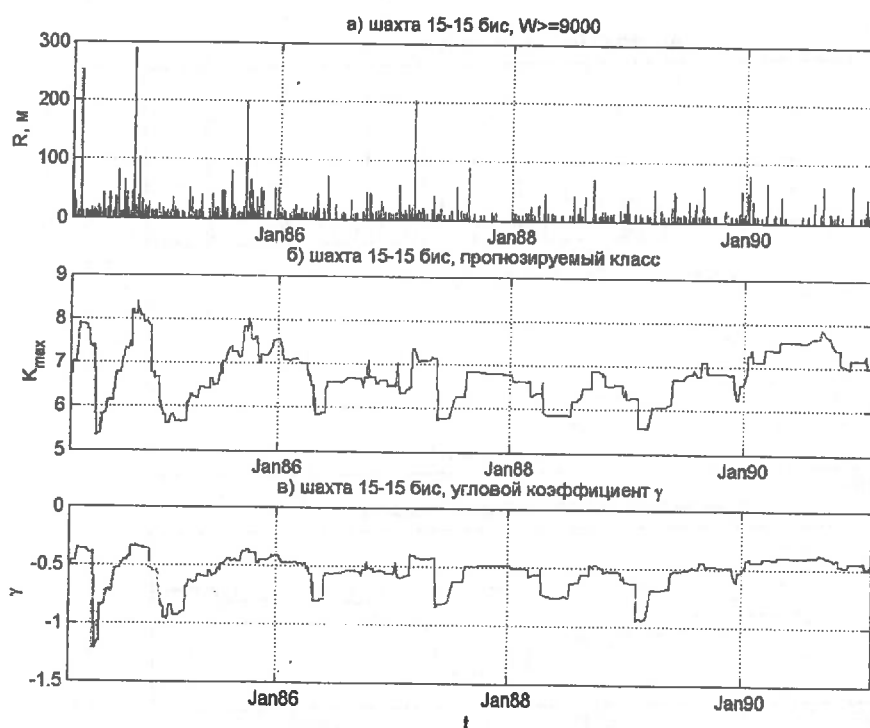


Рис. 4. Шахта 15-15 бис: а) временной ряд СЯ с энергией более 9000 Дж, б) изменение максимального ожидаемого энергетического класса события K^* , в) изменение углового коэффициента графика повторяемости

Определенная закономерность в изменении величин K^* и γ прослеживается для шахтного поля 15-15 бис в первой половине периода наблюдений, когда произошли четыре события 8-го энергетического класса. Все сильные события с энергией 10^7 - 10^8 Дж, зарегистрированные в это время, приходятся на периоды выполаживания зависимости, характеризующиеся увеличением углового коэффициента γ . В такие периоды соотношение между

образующимися разрывами (подвижками) различной длины меняется в пользу образования крупных разрывов.

Рядом авторов [1-5], главным образом на лабораторном и сейсмологическом материале, также отмечалось уменьшение наклона графика повторяемости перед сильным землетрясением, горным ударом и макроразрушением образцов на прессе. Выполяживание зависимости $N(W)$ перед крупным разрывом свидетельствует о том, что его подготовка связана с интенсивным укрупнением разрывов, которое происходит значительно чаще, чем при фоновой сейсмичности, характерной для среднего, установившегося в данном регионе напряженно-деформированного состояния. Эти результаты позволили предположить, что выполяживание графика повторяемости перед образованием сравнительно крупного разрыва сплошности (подвижки) является вполне закономерным проявлением разрушения на различных масштабах от лабораторных образцов до горных ударов и землетрясений.

Основываясь на количественных отличиях, в первую очередь, осредненных значений γ , для региона СУБРа можно предложить простой формализованный метод оценки потенциальной удароопасности пород по величине углового коэффициента графика повторяемости. Уменьшение текущих значений γ должно свидетельствовать о возрастании удароопасности на данном шахтном поле, и напротив, увеличение текущих значений γ может указывать на снижение его удароопасности. Критериальным значением углового коэффициента, условно разделяющим удароопасное состояние массива от неудароопасного, может быть принято равным -0,5, характерное для фонового уровня.

Для оценки и прогноза энергии горных ударов целесообразно использовать величину максимально возможной энергии единичного сейсмического события K^* .

Список литературы

1. Виноградов С.Д. Акустический метод в исследованиях по физике землетрясений. – М.: Наука, 1989. – 177 с.
2. Мамадалиев Ю.А. Об исследовании параметров сейсмического режима во времени и в пространстве // Вопросы региональной сейсмичности Средней Азии. – Фрунзе: Илим 1964.
3. Моги К. Предсказание землетрясений /Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 382 с.
4. Манжиков Б.Ц., Мансуров В.А., Ружич В.В. Проявление нестационарности процесса разрушения горных пород в графиках повторяемости // Всесоюзная школа-семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород». – Иркутск, 1988. – С.79-81.
5. Манжиков Б.Ц. Индуцированная сейсмичность и удароопасность шахтных полей: Автореф. дисс. ... д.ф.-м.н. – Бишкек, 1997.

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ, БУНКЕРОВ, ЕМКОСТЕЙ ВИБРОУДАРНЫМИ МАШИНАМИ

В конце прошлого века появились виброударные машины для очистки различных поверхностей, например, внутренних поверхностей трубопроводов, приемных бункеров, для активации процесса разгрузки транспортных средств /1, 2/. Опытные образцы таких машин показали свою эффективность при работе на различных объектах ТЭЦ. Но процессы, протекающие в таких машинах, были мало изучены, параметры таких машин выбирались интуитивно и, возможно, они еще далеки от оптимальных. В связи с этим возникла задача изучения технологического процесса очистки с целью выбора рациональных параметров виброударных машин.

Решение этой задачи была начато на кафедре «Механика» Кыргызско-Российского Славянского университета в 2007 году. К настоящему времени разработана математическая модель взаимодействия ударной системы машины с обрабатываемым объектом, учитывающая контактные пластические деформации /3/. Она позволяет установить влияние различных факторов на эффективность процесса виброударной очистки поверхностей и напряженное состояние элементов ударной системы.

Расчетная схема имела вид, представленный на рис. 1. Она состоит из жесткого тела (бойка) 1 с массой m и податливой сферической ударной поверхностью радиуса R_1 , который ударяет по упругому стержню (инструменту) 2 длиной L с постоянным по длине диаметром d . Стержень

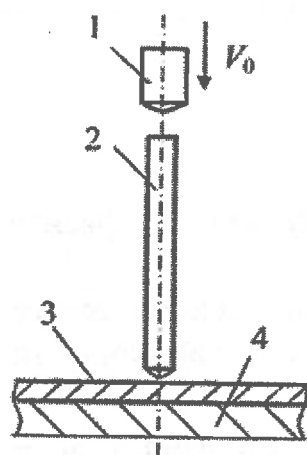


Рис. 1.

опирается на пластину 3 толщиной δ_1 . Торец стержня, контактирующий с бойком, плоский, а торец, контактирующий с пластиной – сферический с радиусом сферы R_2 . В модели пластина со слоем отложений приводится к однослойной пластине толщиной $\delta = \delta_1 + \delta_2$.

Для выбора рациональных параметров элементов виброударной машины необходимо иметь критерии качества, которым должна удовлетворять рассматриваемая система. В качестве таких критериев в работе /4/ приняты высокая производительность, долговечность и малая энергоемкость машины. Эти критерии обеспечиваются при следующих условиях.

Максимальные напряжения в инструменте $(\sigma_n)_m$ должны быть меньше допустимых напряжений

$$(\sigma_n)_m < [\sigma_n]. \quad (1)$$

Коэффициент передачи энергии от машины в обрабатываемый объект η должен быть по возможности большим

$$\eta \rightarrow \eta_{\max}.$$

Глубина остаточной вмятины от инструмента на обрабатываемой поверхности $\alpha_{\text{пл}}$ должны быть меньше допускаемой

$$\alpha_{\text{пл}} < [\alpha_{\text{пл}}]. \quad (3)$$

Максимальные напряжения на обрабатываемой поверхности $(\sigma_{\text{п}})_m$ должны быть меньше допускаемых

$$(\sigma_{\text{п}})_m < [\sigma_{\text{п}}]. \quad (4)$$

Напряжения в слое отложений σ_c должны быть достаточными для его разрушения

$$\sigma_c > \sigma_{\text{рс}}. \quad (5)$$

В работе /5/ с использованием этой модели установлено влияние на перечисленные выше критерии качества толщины слоя отложений на поверхности пластины δ_2 при толщине пластины $\delta_1 = 10$ мм.

В задачу настоящей работы входило расширение этих исследований в диапазоне изменения толщины пластины δ_1 от 6 до 16 мм и отношения толщины слоя отложений к толщине пластины k_δ в диапазоне от 0 до 8. Исходные данные были следующими.

Масса бойка $m = 1$ кг, радиус сферы ударной части бойка $R_1 = 55$ мм. Скорость соударения бойка со стержнем $V_0 = 3,5$ м/с. Длина стержня $L = 0,5$ м, диаметр $d = 28,1$ мм, площадь поперечного сечения стержня $F = 6,202 \cdot 10^{-4}$ м², радиус сферы торца, опирающегося на пластину $R_2 = 45$ мм, скорость распространения продольной волны деформации в стержне $a_c = 5100$ м/с.

Плотность материала, модуль упругости и коэффициент Пуассона бойка, инструмента и пластины одинаковые и равны соответственно: $\rho = 7850$ кг/м³, $E = 20,4 \cdot 10^{10}$ Па, $\mu = 0,3$. Для шлака $E_2 = 0,27 \cdot 10^{10}$ Па, $\mu_2 = 0,15$ и $\rho_2 = 2050$ кг/м³. Допускаемые напряжения в пластине и инструменте $[\sigma_{\text{п}}] = 160$ МПа и $[\sigma_{\text{и}}] = 240$ МПа. Полученные результаты представлены на рис. 2.

На рис. 2, а видно, что существует определенное значение k_δ , при котором коэффициент передачи энергии удара в пластину η наибольший. Это значение тем меньше, чем больше толщина пластины. Но максимальное значение этого коэффициента для любой толщины обрабатываемой пластины δ_1 с изменением k_δ остается неизменным и равным $\eta_{\max} \approx 0,66$. При толщине пластины δ_1 меньшей 10 мм с уменьшением k_δ коэффициент передачи энергии η вначале возрастает, а затем уменьшается. При больших значениях толщины пластины δ_1 с уменьшением k_δ коэффициент эффективности передачи энергии η возрастает на всем интервале изменения k_δ .

На рис. 2, б показаны графики зависимости напряжений, возникающих на внешней поверхности слоя шлака σ_c , от коэффициента k_δ при различных толщинах пластины. Эти кривые также имеют экстремальный характер. В отличие от η напряжения σ_c достигают максимального значения при $k_\delta = 2$ при любых толщинах пластины.

Предел прочности на растяжение для шлака в трубах золошлакопроводов составляет 0,7 МПа. На рис. 2, б видно, что при толщине пластины 16 мм

условие (5) на внешней поверхности слоя шлака выполняется при изменении k_δ от 6 до 0. С уменьшением толщины пластины этот диапазон расширяется в сторону увеличения отношения k_δ .

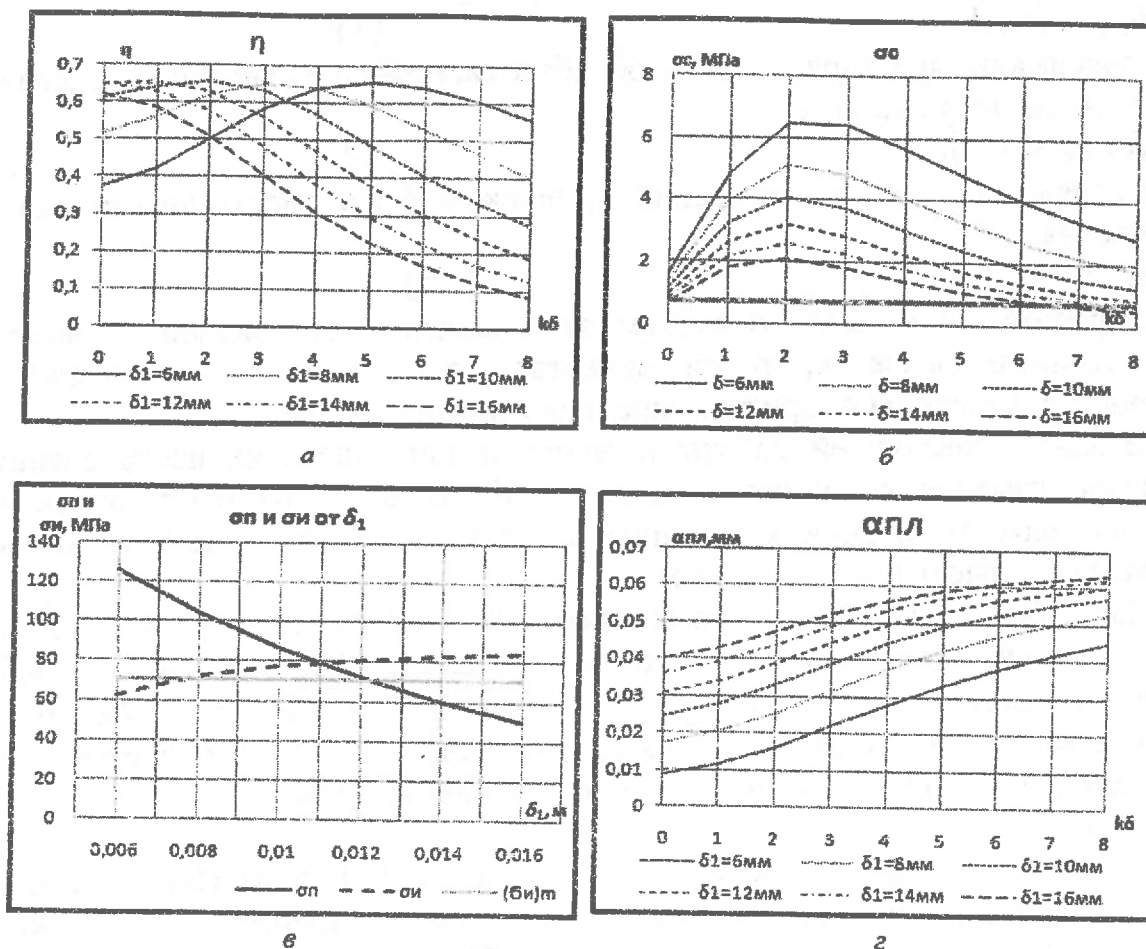


Рис. 2.

Рассмотрим напряжения, возникающие в инструменте и пластине (рис. 2, в). Отметим, что максимальные напряжения в инструменте соответствуют началу процесса обработки пластины, когда коэффициент k_δ максимальный (в данном случае равный 8). Максимальные напряжения в пластине соответствуют окончанию ее обработки, когда пластина свободна от шлака.

Расчеты показывают, что для пластин толщиной менее 8 мм максимальные напряжения сжатия в инструменте определяются напряжениями в начальной волне деформации (σ_n), генерируемой при ударе бойком по инструменту. Их величина составляет 71 МПа. С увеличением δ_1 свыше 8 мм максимальные напряжения в инструменте начинают возрастать из-за наложения прямой и отраженной волн деформаций. При цилиндрической жесткости пластины, стремящейся к бесконечности, максимальные напряжения в инструменте стремятся к величине, равной 90 МПа.

На рис. 2, в видно, что при скорости удара $V_0 = 3,5$ м/с для пластин толщиной от 6 до 16 мм значения σ_n меньше допустимых, т.е. выполняется условие (4). Это говорит о возможности увеличения скорости и энергии удара без ущерба для прочности инструмента и пластины. При этом можно также

ожидать увеличения напряжений в слое шлака и повышения эффективности его отделения. Чем больше толщина пластины δ_1 , тем больше может быть увеличена скорость удара, допускаемая прочностью пластины. Например, для $\delta_1 = 6$ мм допускаемая скорость удара составляет $[V] = 4,48$ м/с, а для $\delta_1 = 16$ мм $[V] = 10$ м/с. Но с точки зрения прочности инструмента предельная скорость удара $[V]$ равна 9,3 м/с.

При скорости удара 9,3 м/с глубина остаточной лунки от инструмента на поверхности пластины не будет превышать 0,18 мм, что вполне допустимо.

Глубина остаточной лунки от инструмента на обрабатываемой поверхности пластины $\alpha_{пл}$ с увеличением толщины слоя отложений k_δ возрастает (рис. 2, г). Но с увеличением толщины слоя шлака на поверхности пластины интенсивность этого возрастания уменьшается. Например, для пластины толщиной 6 мм при повышении k_δ от 0 до 8 глубина остаточной вмятины $\alpha_{пл}$ возрастает в 4 раза, а для пластины толщиной 16 мм – в 1,5 раза.

Расчеты показали, что для любых значений δ_1 при $k_\delta \rightarrow \infty$ $\alpha_{пл} = 0,068$ мм. Эта величина составляет менее 1 % от толщины пластины. Это тоже свидетельствует о возможности увеличения скорости удара в рассматриваемой системе.

Полученные результаты являются началом исследования влияния различных факторов на параметры процесса виброударной очистки. В дальнейшем планируется исследование влияния на эти параметры скорости удара, диаметра инструмента и массы бойка.

Список литературы

1. Абдраимов Э.С., Фокин Ю.А., Каримов А.А., Эркебаев М.Б. Создание специализированной установки очистки бункеров приема угля ТЭЦ // Новые технологии и технологическое оборудование. – Бишкек: Технология, 2001. – С.50–54.
2. Фокин Ю.А., Абдраимов Э.С. Результаты эксплуатации опытного образца машины для очистки труб золошлакопроводов ТЭЦ // История, культура и экономика Кыргызстана. – Ош, 2000. – С. 293–299.
3. Еремьянц В.Э. Упругопластическая модель ударной системы «боек-волновод-пластина». // Вестник КРСУ. – 2010. – № 10. – Бишкек. – С. 134–139.
4. Еремьянц В.Э., Панова Л.Т., Асанова А.А. Обеспечение критериев качества ударных систем машин для виброударной очистки поверхностей // Вестник КРСУ. – 2011. – № 11. – Бишкек. – С. 101–107.
5. Еремьянц В.Э., Панова Л.Т., Нью В.В. Влияние толщины слоя отложений на поверхности пластины на процесс её виброударной очистки // Современная техника и технологии в научных исследованиях. – Бишкек: Научная станция РАН, 2012. – С.186–191.

МОДЕЛЬ ОСНАЩЕННОГО СТЕРЖНЯ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ

В работе рассматривается модель оснащенного стержня периодической структуры, состоящего из однородного упругого стержня, к которому с помощью каких-либо связей присоединены сосредоточенные массы, равномерно распределенные по длине стержня.

Впервые модель такого стержня была предложена в работе /1/ в связи с необходимостью исследования процесса виброударного отделения отливок от литейных блоков. В дальнейшем эта модель излагалась и в работе /2/.

При точном литье мелких деталей по выплавляемым моделям после заливки металла в форму и охлаждения получают литейный блок, который состоит из литникового стержня 1, к которому с помощью питателей 3 присоединены отливки 2 (рис. 1, а). В зависимости от массы и размеров отливок литейный блок может содержать от 2 до 200 отливок.

При составлении модели в работе /1/ центральный литниковый стержень представлялся в виде совокупности сосредоточенных масс m , связанных друг с другом упругими элементами с коэффициентом жесткости c_2 (рис. 1, б). Отливки моделировались сосредоточенными массами m_0 , связанными со стержнем упругими элементами с коэффициентом жесткости c_1 .

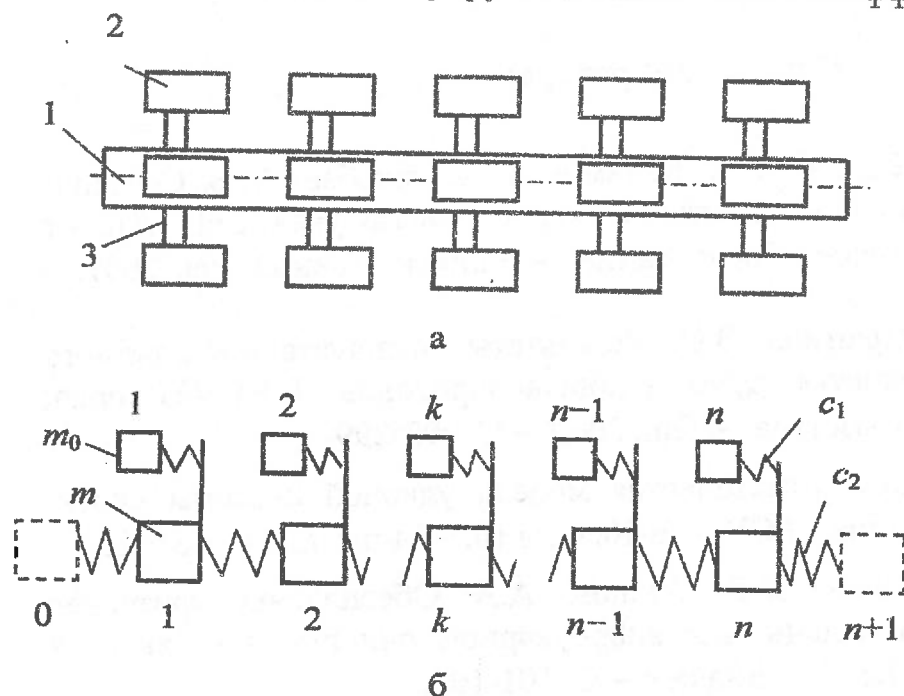


Рис. 1. Оснащенный стержень (а) и его дискретная модель (б)

Следует отметить, что в последующей работе /2/ допущена опечатка. На рис. 1, б перепутаны обозначения упругих элементов c_1 и c_2 .

В работе /1/ координаты масс m_0 обозначались через x_k , а масс m — через y_j , где k и j — номера масс m_0 и m . При этом всем массам m_0 присваивались нечетные номера (1, 3, ...), а массам m — четные номера ($j = 2, 4, \dots$).

Описание математической модели существенно упрощается, если в модели связанные массы m_0 и m обозначать одним номером, как показано на рис. 1, б. Дальнейшие процедуры не отличаются от изложенных в работе /1/.

Добавление ко всем массам модели фиктивных масс m с номерами 0 и $n+1$ позволяет описать движение всех масс m_0 и m , за исключением фиктивных, одинаковыми уравнениями вида:

$$m_0 \ddot{x}_k + c_1(x_k - y_k) = 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (1)$$

$$m \ddot{y}_k - c_1(x_k - y_k) - c_2(y_{k-1} - y_k) + c_2(y_k - y_{k+1}) = 0, \quad (2)$$

Граничные условия на концах стержня теперь записываются через координаты фиктивных масс следующим образом:

при свободных концах стержня

$$y_0 - y_1 = 0, \quad y_n - y_{n+1} = 0, \quad (3)$$

при одном свободном и другом закрепленном концах

$$y_0 - y_1 = 0, \quad y_{n+1} = 0, \quad \text{или} \quad y_0 = 0, \quad y_n - y_{n+1} = 0, \quad (4)$$

при обоих закрепленных концах

$$y_0 = 0, \quad y_{n+1} = 0. \quad (5)$$

Частные решения системы уравнений (1), (2) отыскивались в виде:

$$x_k = A_k \sin(pt + \varphi), \quad y_k = B_k \sin(pt + \varphi), \quad (6)$$

где p — собственная частота колебаний; φ — начальная фаза колебаний; t — время; A_k, B_k — постоянные коэффициенты, которые представлялись в виде:

$$A_k = a^* \sin k\beta + a \cos k\beta, \quad B_k = b^* \sin k\beta + b \cos k\beta, \quad (7)$$

где a^*, b^*, a, b, β — величины, зависящие от частоты колебаний и не зависящие от номера k .

Подстановка этих решений в уравнения (1), (2) дает систему алгебраических уравнений

$$(c_1 - m_0 p^2)(a^* \sin k\beta + a \cos k\beta) - c_1(b^* \sin k\beta + b \cos k\beta) = 0, \quad (8)$$

$$c_1(a^* \sin k\beta + a \cos k\beta) - (c_1 + 2c_2 - m p^2 - 2c_2 \cos \beta) \times$$

$$\times (b^* \sin k\beta + b \cos k\beta) = 0, \quad (9)$$

из которых находятся собственные частоты колебаний. При этом решение дает два спектра частот: низший p_{s1} и высший p_{s2} :

$$p_{s1} = \sqrt{h - \sqrt{h^2 - \lambda^2}}, \quad p_{s2} = \sqrt{h + \sqrt{h^2 - \lambda^2}},$$

где

$$h = \frac{1}{2} \left(\frac{c_1}{m_0} + \frac{c_1}{m} + \frac{4c_2}{m} \sin^2 \frac{\beta_s}{2} \right), \quad \lambda^2 = \frac{4c_1 c_2}{m m_0} \sin^2 \frac{\beta_s}{2}.$$

Величина β_s определяется из граничных условий задачи: при свободных концах стержня (3)

$$\beta_0 = \pi, \quad \beta_s = \pi s/n, \quad s = 1, 2, \dots, n-1;$$

при одном свободном и другом закрепленном концах (4)

$$\beta_s = \frac{\pi(2s-1)}{(2n+1)}, \quad s = 1, 2, \dots, n;$$

при обоих закрепленных концах (5)

$$\beta_s = \frac{2\pi s}{2n+1}, \quad s = 1, 2, \dots, n;$$

Поскольку частоты p_s имеют два спектра при одном и том же значении s , то и постоянные a_s , b_s имеют по два значения, соответствующие каждому спектру. При этом $a^* = 0$, постоянные b^* и b связаны между собой соотношением

$$\frac{b_s^*}{b_s} = \operatorname{tg} \frac{\beta_s}{2},$$

а постоянные b_s связаны с постоянными a_s соотношениями:

$$b_{s1} = a_{s1} \left(1 - \frac{m_0}{c_1} p_{s1}^2 \right) \cos \beta_s, \quad b_{s2} = a_{s2} \left(1 - \frac{m_0}{c_1} p_{s2}^2 \right) \cos \beta_s. \quad (10)$$

С учетом найденных соотношений частные решения уравнений движения (1), (2) можно представить в виде суммы решений, полученных для различных частот

$$x_{ks}(t) = a_{s1} \cos k\beta_s \sin(p_{s1}t + \varphi_{s1}) + a_{s2} \cos k\beta_s \sin(p_{s2}t + \varphi_{s2}),$$

$$y_{js}(t) = b_{s1} \cos[(j-1)\beta_s] \sin(p_{s1}t + \varphi_{s1}) + b_{s2} \cos[(j-1)\beta_s] \sin(p_{s2}t + \varphi_{s2}),$$

а общее решение системы дифференциальных уравнений (1), (2) запишется как сумма частных решений

$$x_k(t) = \sum_{s=1}^n \cos k\beta_s [a_{s1} \sin(p_{s1}t + \varphi_{s1}) + a_{s2} \sin(p_{s2}t + \varphi_{s2})], \quad (11)$$

$$y_k(t) = \sum_{s=1}^n \cos k\beta_s \left[a_{s1} \left(1 - \frac{m_0}{c_1} p_{s1}^2 \right) \sin(p_{s1}t + \varphi_{s1}) + a_{s2} \left(1 - \frac{m_0}{c_1} p_{s2}^2 \right) \sin(p_{s2}t + \varphi_{s2}) \right]. \quad (12)$$

Уравнения (11), (12) содержат четыре неизвестных параметра a_{s1} , a_{s2} , φ_{s1} , φ_{s2} , которые находятся из начальных условий:

$$x_k(0) = x_{k0}, \quad \dot{x}_k(0) = \dot{x}_{k0}, \quad (13)$$

$$y_k(0) = y_{k0}, \quad \dot{y}_k(0) = \dot{y}_{k0}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (14)$$

Методика их определения в работах /1, 2/ не приводится.

Эти параметры могут быть найдены методом главных координат.

Заметим, что в уравнениях (11) и (12) первый сомножитель, стоящий под знаком суммы, представляет собой форму колебаний. Обозначим его X_{ks} .

$$X_{ks} = \cos k\beta.$$

Заметим также, что главными координатами являются функции:

$$q_{s1} = a_{s1} \sin(p_{s1}t + \varphi_{s1}), \quad q_{s2} = a_{s2} \sin(p_{s2}t + \varphi_{s2}), \quad (15)$$

Распишем сумму в уравнении (11) с учетом этих обозначений

$$x_1(t) = X_{11}(q_{11} + q_{12}) + X_{12}(q_{21} + q_{22}) + \dots + X_{1s}(q_{s1} + q_{s2}) + \dots + X_{1n}(q_{n1} + q_{n2}),$$

$$x_2(t) = X_{21}(q_{11} + q_{12}) + X_{22}(q_{21} + q_{22}) + \dots + X_{2s}(q_{s1} + q_{s2}) + \dots + X_{2n}(q_{n1} + q_{n2}),$$

$$\dots \dots \dots x_k(t) = X_{k1}(q_{11} + q_{12}) + X_{k2}(q_{21} + q_{22}) + \dots + X_{ks}(q_{s1} + q_{s2}) + \dots + X_{kn}(q_{n1} + q_{n2}),$$

$$\dots \dots \dots x_n(t) = X_{n1}(q_{11} + q_{12}) + X_{n2}(q_{21} + q_{22}) + \dots + X_{ns}(q_{s1} + q_{s2}) + \dots + X_{nn}(q_{n1} + q_{n2}).$$

Умножим первое уравнение этой системы на $m_0 X_{1s}$, второе – на $m_0 X_{2s}$, третье – на $m_0 X_{ks}$ последнее – на $m_0 X_{ns}$ и сложим уравнения почленно. Получим:

$$\sum_{k=1}^n m_0 X_{ks} x_k = (q_{11} + q_{12}) \sum_{k=1}^n m_0 X_{ks} X_{k1} + (q_{21} + q_{22}) \sum_{k=1}^n m_0 X_{ks} X_{k2} + \dots + (q_{s1} + q_{s2}) \sum_{k=1}^n m_0 X_{ks}^2 + \dots + (q_{n1} + q_{n2}) \sum_{k=1}^n m_0 X_{ks} X_{kn}.$$

В соответствии со свойством ортогональности собственных форм колебаний все суммы в правой части равенства, кроме суммы, содержащей квадрат формы X_{ks} , равны нулю. Отсюда следует:

$$(q_{s1} + q_{s2}) = \frac{\sum_{k=1}^n X_{ks} x_k}{\sum_{k=1}^n X_{ks}^2}. \quad (16)$$

Дифференцируя левую и правую части этого уравнения по времени, получим:

$$(\ddot{q}_{s1} + \ddot{q}_{s2}) = \frac{\sum_{k=1}^n X_{ks} \ddot{x}_k}{\sum_{k=1}^n X_{ks}^2}. \quad (17)$$

Аналогично для масс m форма колебаний описывается функцией:

$$Y_{ks} = \cos k\beta \cdot \cos \beta_s = X_{ks} \cos \beta_s.$$

Проводя процедуры, аналогичные приведенным выше, получим:

$$(\lambda_{s1} q_{s1} + \lambda_{s2} q_{s2}) = \frac{\sum_{k=1}^n Y_{ks} y_k}{\sum_{k=1}^n Y_{ks}^2} = \frac{\sum_{k=1}^n X_{ks} y_k}{\cos \beta_s \sum_{k=1}^n X_{ks}^2}. \quad (18)$$

$$(\lambda_{s1} \dot{q}_{s1} + \lambda_{s2} \dot{q}_{s2}) = \frac{\sum_{k=1}^n Y_{ks} \dot{y}_k}{\sum_{k=1}^n Y_{ks}^2} = \frac{\sum_{k=1}^n X_{ks} \dot{y}_k}{\cos \beta_s \sum_{k=1}^n X_{ks}^2}. \quad (19)$$

где

$$\lambda_{s1} = 1 - \frac{m_0}{c_1} p_{s1}^2, \quad \lambda_{s2} = 1 - \frac{m_0}{c_1} p_{s2}^2.$$

Дальнейший путь определения постоянных коэффициентов покажем на примере, когда оснащенный стержень, двигаясь вправо со скоростью V_0 , наносит удар по жесткой преграде. В этом случае граничные условия описываются первой парой соотношений (4).

При этих условиях выражения (16)–(19) с учетом функций главных координат (15) принимают вид

$$a_{s1} \sin \varphi_{s1} + a_{s2} \sin \varphi_{s2} = 0. \quad (20)$$

$$a_{s1} p_{s1} \cos \varphi_{s1} + a_{s2} p_{s2} \cos \varphi_{s2} = V_0 Q_{ks}. \quad (21)$$

$$\lambda_{s1} a_{s1} \sin \varphi_{s1} + \lambda_{s2} a_{s2} \sin \varphi_{s2} = 0, \quad (22)$$

$$\lambda_{s1} a_{s1} p_{s1} \cos \varphi_{s1} + \lambda_{s2} a_{s2} p_{s2} \cos \varphi_{s2} = \frac{V_0}{\cos \beta_s} Q_{ks}, \quad (23)$$

где

$$Q_{ks} = \frac{\sum_{k=1}^n X_{ks}}{\sum_{k=1}^n X_{ks}^2}.$$

Решая совместно эту систему уравнений, найдем:

$$\varphi_{s1} = \varphi_{s2} = 0,$$

$$a_{s1} = \frac{(1 - \lambda_{s2} \cos \beta_s)}{p_{s1} (\lambda_{s1} - \lambda_{s2}) \cos \beta_s} V_0 Q_{ks}, \quad a_{s2} = - \frac{(1 - \lambda_{s1} \cos \beta_s)}{p_{s2} (\lambda_{s1} - \lambda_{s2})} V_0 Q_{ks}.$$

С учетом найденных постоянных решения (11), (12) принимают вид:

$$x_k(t) = V_0 \sum_{s=1}^n \frac{Q_{ks} (1 - \lambda_{s2} \cos \beta_s) \cos k\beta_s}{p_{s1} (\lambda_{s1} - \lambda_{s2}) \cos \beta_s} \left[\sin p_{s1} t - \frac{p_{s1} (1 - \lambda_{s1} \cos \beta_s)}{p_{s2} (1 - \lambda_{s2} \cos \beta_s)} \sin p_{s2} t \right],$$

$$y_k(t) = \sum_{s=1}^n \frac{Q_{ks} \lambda_{s1} (1 - \lambda_{s2} \cos \beta_s) \cos k \beta_s}{p_{s1} (\lambda_{s1} - \lambda_{s2})} \left[\sin p_{s1} t - \frac{\lambda_{s2} p_{s1} (1 - \lambda_{s1} \cos \beta_s)}{\lambda_{s1} p_{s2} (1 - \lambda_{s2} \cos \beta_s)} \sin p_{s2} t \right].$$

Усилия в упругих связях масс m_0 и m определяются как:

$$F_k = c_1 (x_k - y_k),$$

а в упругих связях масс m :

$$P_k = c_2 (y_k - y_{k+1}).$$

Полученные зависимости позволяют проводить анализ влияния различных факторов на свободные колебания оснащенных стержней.

Список литературы

1. Еремьянц В.Э. Свободные колебания оснащенных стержней. //Изв. АН Кирг.ССР. – 1990. – № 4. – С.40–47.
2. Еремьянц В.Э. Динамика ударных систем: Учебное пособие в 2-х частях. Часть 1. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. – 323 с.

УДК 531.3

В.Э.Еремьянц, И.С.Дроздова

МОДЕЛЬ ОСНАЩЕННОГО СТЕРЖНЯ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В статье «Модель оснащенного стержня с конечным числом степеней свободы» [1], помещенной в данном сборнике, оснащенный стержень представлялся в виде ряда сосредоточенных масс m (рис. 1), связанных друг с другом упругими связями с коэффициентом жесткости c_2 . К каждой из этих масс с помощью упругих связей с коэффициентом жесткости c_1 присоединена сосредоточенная масса m_0 .

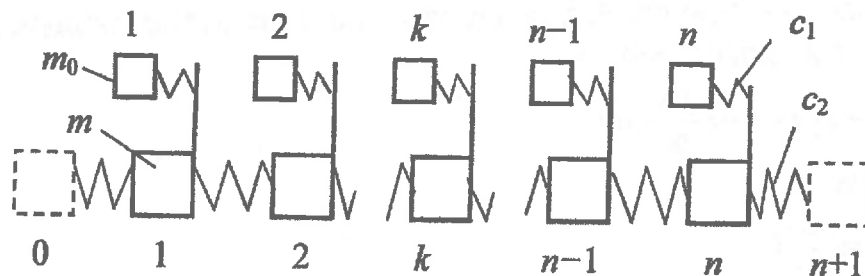


Рис. 1

При большом числе масс m_0 анализ этой модели связан с необходимостью громоздких вычислений. В связи с этим в настоящей работе сделана попытка упростить математическое описание динамических процессов в оснащем стержне, представив его моделью с распределенными параметрами.

Представим стержень как упругое тело, к которому по всей длине с помощью упругих связей присоединены элементарные жесткие массы, не связанные друг с другом. Обозначим перемещения сечений стержня через u_1 , а перемещения сосредоточенных масс – через u_2 . Поскольку стержень упругий с распределенными параметрами, то эти перемещения зависят от времени и от координаты сечения: $u_1 = u_1(x, t)$, $u_2 = u_2(x, t)$.

Выделим в стержне элементарный участок длиной dx (рис. 2). Масса этого участка $m dx$, где m – погонная масса самого стержня. Этот участок связан с сосредоточенной массой величиной $m_0 dx$, упругим элементом с жесткостью $c dx$, где m_0 – величина сосредоточенных масс, приходящихся на единицу длины стержня; c – жесткость всех упругих связей, расположенных на единичной длине стержня.

Если масса самого стержня m_1 , величина одной сосредоточенной массы m_2 , а жесткость одной упругой связи сосредоточенной массы со стержнем c_0 , то параметры модели связаны с параметрами оснащенного стержня соотношениями:

$$m = m_1 / l = \rho S, m_0 = n m_2 / l, c = n c_0 / l, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала стержня; S – площадь поперечного сечения стержня, l – длина стержня; n – количество сосредоточенных масс.

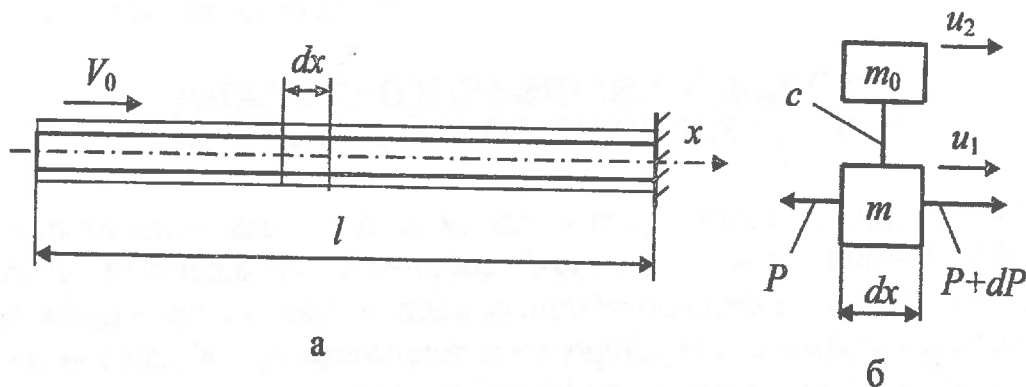


Рис. 2.

Запишем уравнение проекций сил, действующих на элементарный участок массой $m dx$, включая силы инерции

$$\frac{\partial P}{\partial x} dx - c dx (u_1 - u_2) - m dx \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = 0.$$

Учитывая, что

$$P = ES \frac{\partial u_1}{\partial x} = m a^2 \frac{\partial u_1}{\partial x} \quad (2)$$

и, сокращая все члены на dx , приведем это уравнение к виду:

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} + k^2(u_1 - u_2) - a^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = 0, \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала стержня; a – скорость распространения волны деформации в гладком упругом стержне, $a = \sqrt{E/\rho}$, $k^2 = c/m$.

Записывая сумму проекций сил, действующих на массу $m_0 dx$, добавляя к ним силы инерции и сокращая все члены уравнения на dx , получим:

$$\frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} - k_0^2(u_1 - u_2) = 0, \quad (4)$$

где $k_0^2 = c/m_0$.

Выражая из уравнения (3)

$$u_2 = u_1 - \frac{a^2}{k^2} \cdot \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} + \frac{1}{k^2} \cdot \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \quad (5)$$

и подставляя это выражение в уравнение (4), получим:

$$\frac{\partial^4 u_1}{\partial t^4} - a^2 \frac{\partial^4 u_1}{\partial x^2 \partial t^2} + k_0^2(1 + \mu) \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} - k_0^2 a^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = 0, \quad (6)$$

где $\mu = m_0/m$.

Примем, что решение этого уравнения при свободных колебаниях имеет вид:

$$u_1(x, t) = X_1(x) \cos(pt + \varphi), \quad (7)$$

где $X_1(x)$ – амплитудная функция, зависящая от координаты x и не зависящая от времени; $\cos(pt + \varphi)$ – главная координата, зависящая только от времени.

Подставляя решение (7) в уравнение (6) и сокращая все члены на $\cos(pt + \varphi)$, приведем его к виду:

$$X_1'' + \beta^2 X_1 = 0, \quad (8)$$

где

$$X_1'' = \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2}, \quad \beta^2 = \frac{p^2}{a^2} \left(1 - \frac{k_0^2 \mu}{p^2 - k_0^2} \right). \quad (9)$$

Решение уравнения (8) имеет вид:

$$X_1(x) = A \sin \beta x + B \cos \beta x,$$

где A и B – постоянные, определяемые из граничных условий задачи.

Примем, что оснащенный стержень длиной l , двигаясь со скоростью V_0 , наносит удар по жесткой преграде. Начало координат оси x расположено на торце стержня, противоположном ударному торцу. Тогда граничные условия будут иметь вид:

$$X_1'(0) = 0, \quad X_1(l) = 0. \quad (10)$$

Из них следует: $A = 0$, $B \cos \beta l = 0$. Так как $B \neq 0$, то граничные условия выполняются при следующих значениях β :

$$\beta_s = (2s - 1)\pi / 2l, \quad s = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

При известном значении β_s собственные частоты колебаний стержня находятся из выражения (9) как:

$$\sqrt{\frac{1}{2}[a^2 \beta_s^2 + k_0^2(1+\mu)]} \pm \sqrt{\frac{1}{4}[a^2 \beta_s^2 + k_0^2(1+\mu)]^2 - a^2 \beta_s^2 k_0^2}. \quad (12)$$

Из полученной формулы видно, что в данном случае, как и в модели с конечным числом степеней свободы, существуют два спектра собственных частот. Низший спектр p_{s1} , соответствующий знаку минус в выражении (12), и высший спектр p_{s2} , соответствующий знаку плюс.

Если в частном случае принять, что сосредоточенные массы на стержне отсутствуют, то $k_0 = 0$ и

$$p_{s1} = 0, \quad p_{s2} = \frac{a\pi(2s-1)}{2l},$$

т.е. получим один спектр частот — высший, соответствующий частотам гладкого неоснащенного стержня. Это свидетельствует о достоверности полученного решения.

Формы колебаний определяются как:

$$X_{1s1}(x) = B_{s1} \cos \beta_s x, \quad X_{1s2}(x) = B_{s2} \cos \beta_s x.$$

Частное решение уравнения движения (6) запишется в виде:

$$u_{1s}(x, t) = \cos \beta_s x [B_{s1} \cos(p_{s1}t + \varphi_{s1}) + B_{s2} \cos(p_{s2}t + \varphi_{s2})]. \quad (13)$$

Подставляя его в соотношение (5) получим частное решение для функции $u_2(x, t)$:

$$u_{2s}(x, t) = \cos \beta_s x [B_{s1} \lambda_{s1} \cos(p_{s1}t + \varphi_{s1}) + B_{s2} \lambda_{s2} \cos(p_{s2}t + \varphi_{s2})], \quad (14)$$

Общее решение для функций $u_1(x, t)$ и $u_2(x, t)$ определится как сумма частных решений:

$$u_1(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \cos \beta_s x [B_{s1} \cos(p_{s1}t + \varphi_{s1}) + B_{s2} \cos(p_{s2}t + \varphi_{s2})], \quad (15)$$

$$u_2(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \cos \beta_s x [B_{s1} \lambda_{s1} \cos(p_{s1}t + \varphi_{s1}) + B_{s2} \lambda_{s2} \cos(p_{s2}t + \varphi_{s2})], \quad (16)$$

где

$$\lambda_{s1} = 1 + \frac{a^2 \beta_s^2 - p_{s1}^2}{k^2}, \quad \lambda_{s2} = 1 + \frac{a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2}{k^2}. \quad (17)$$

Постоянные интегрирования B_{s1} , B_{s2} , φ_{s1} , φ_{s2} находятся из начальных условий задачи, которые в рассматриваемом случае имеют вид:

$$u_1(x, 0) = 0, \quad u_2(x, 0) = 0, \quad \dot{u}_1(x, 0) = V_0, \quad \dot{u}_2(x, 0) = V_0. \quad (18)$$

Принимая в качестве безразмерной амплитудной функции $X(x) = \cos \beta_s x$,

а в качестве главных координат:

$$q_{s1} = B_{s1} \cos(p_{s1}t + \varphi_{s1}), \quad q_{s2} = B_{s2} \cos(p_{s2}t + \varphi_{s2}), \quad (19)$$

можно записать систему уравнений, отражающую связь главных координат с физическими координатами системы при начальных условиях /2/:

$$q_{s1}(0) + q_{s2}(0) = u_1(x, 0)Q_s, \quad \lambda_{s1}q_{s1}(0) + \lambda_{s2}q_{s2}(0) = u_2(x, 0)Q_s,$$

$$\dot{q}_{s1}(0) + \dot{q}_{s2}(0) = \dot{u}_1(x, 0)Q_s, \quad \lambda_{s1}\dot{q}_{s1}(0) + \lambda_{s2}\dot{q}_{s2}(0) = \dot{u}_2(x, 0)Q_s,$$

где

$$Q_s = \frac{\int_0^l X(x)dx}{\int_0^l X^2(x)dx}. \quad (20)$$

Подставляя в эти уравнения граничные условия (18), соотношения (19) и вычисляя интегралы (20) запишем:

$$B_{s1} \cos \varphi_{s1} + B_{s2} \cos \varphi_{s2} = 0, \quad \lambda_{s1}B_{s1} \cos \varphi_{s1} + \lambda_{s2}B_{s2} \cos \varphi_{s2} = 0,$$

$$B_{s1}p_{s1} \sin \varphi_{s1} + B_{s2}p_{s2} \sin \varphi_{s2} = (-1)^{s-1} \frac{2V_0}{\beta_s l},$$

$$\lambda_{s1}B_{s1}p_{s1} \sin \varphi_{s1} + \lambda_{s2}B_{s2}p_{s2} \sin \varphi_{s2} = (-1)^{s-1} \frac{2V_0}{\beta_s l}.$$

Из первой пары этих уравнений следует: $\varphi_{s1} = \varphi_{s2} = \pi/2$, а из третьего и четвертого уравнений –

$$B_{s1} = \frac{2V_0(-1)^{s-1}(\lambda_{s2} - 1)}{\beta_s l p_{s1}(\lambda_{s1} - \lambda_{s2})}, \quad B_{s2} = -\frac{2V_0(-1)^{s-1}(\lambda_{s1} - 1)}{\beta_s l p_{s2}(\lambda_{s1} - \lambda_{s2})}.$$

С учетом этого и соотношений (17) решения (15), (16) принимают вид:

$$u_1(x, t) = \frac{2V_0}{l} \sum_{s=1}^{\infty} \cos \beta_s x \frac{(-1)^{s-1}(a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2)}{\beta_s p_{s1}(p_{s2}^2 - p_{s1}^2)} \times \left[\sin p_{s1} t - \frac{p_{s1}}{p_{s2}} \frac{(a^2 \beta_s^2 - p_{s1}^2)}{(a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2)} \sin p_{s2} t \right],$$

$$u_2(x, t) = \frac{2V_0}{l} \sum_{s=1}^{\infty} \cos \beta_s x \frac{(-1)^{s-1}(a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2)\lambda_{s1}}{\beta_s p_{s1}(p_{s2}^2 - p_{s1}^2)} \times \left[\sin p_{s1} t - \frac{p_{s1}\lambda_{s2}}{p_{s2}\lambda_{s1}} \frac{(a^2 \beta_s^2 - p_{s1}^2)}{(a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2)} \sin p_{s2} t \right].$$

Усилия в упругих связях масс m и m_0 определяются как

$$F_y(x, t) = c[u_1(x, t) - u_2(x, t)],$$

а усилия в сечениях центрального стержня:

$$\begin{aligned}
P(x, t) &= ma^2 \frac{\partial u_1}{\partial x} \\
&= -\frac{2ma^2 V_0}{l} \sum_{s=1}^{\infty} \sin \beta_s x \frac{(-1)^{s-1} (a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2)}{p_{s1} (p_{s2}^2 - p_{s1}^2)} \\
&\quad \times \left[\sin p_{s1} t - \frac{p_{s1} (a^2 \beta_s^2 - p_{s1}^2)}{p_{s2} (a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2)} \sin p_{s2} t \right].
\end{aligned}$$

Знак минус перед правой частью этого равенства показывает, что в сечениях стержня действуют усилия сжатия.

Амплитуды перемещений и сил, действующих в сечениях стержня, с увеличением параметра s интенсивно уменьшаются и в большинстве случаев с погрешностью, не превышающей 3%, достаточно удерживать первые три члена в разложении функций описывающих эти параметры.

Сравнивая данный метод с методом, изложенным в статье [1], можно отметить, что он позволяет получить более простые выражения при большом числе сосредоточенных масс. При малом числе масс предпочтительным является первый метод.

Список литературы

1. Еремьянц В.Э., Муктарбекова Г.М. Модель оснащенного стержня с конечным числом степеней свободы. Статья в настоящем сборнике.
2. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. — М.: Высш. школа, 1972. — 412 с.

УДК 669.2/8+539 2/6

Е.А.Субботина

О ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ ПОЛОСЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

1. **Продольная прокатка.** Прокаткой называется [1, 2] процесс пластического деформирования тел между вращающимися приводными валками.

Способ продольной прокатки является наиболее распространенным. В этом случае полоса подводится к валкам, вращающимся в разные стороны, и втягивается в зазор между ними. За счет сил трения на контактной поверхности полоса обжимается по высоте и принимает форму зазора (калибра) между

валками. При этом способе прокатки полоса совершает только поступательное движение.

Кинематика процесса продольной прокатки полосы

Рассмотрим случай прокатки в валках одинакового радиуса, вращающихся с одинаковыми угловыми скоростями (рис.1)/

В результате операции полоса толщиной h_1 на входе в валки становится h_2 на выходе из валков.

Отношение:

$$\Lambda = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \quad (1.1)$$

называется обжатием полосы.

Часть полосы между входом и выходом из валков рассматривается как очаг деформации.

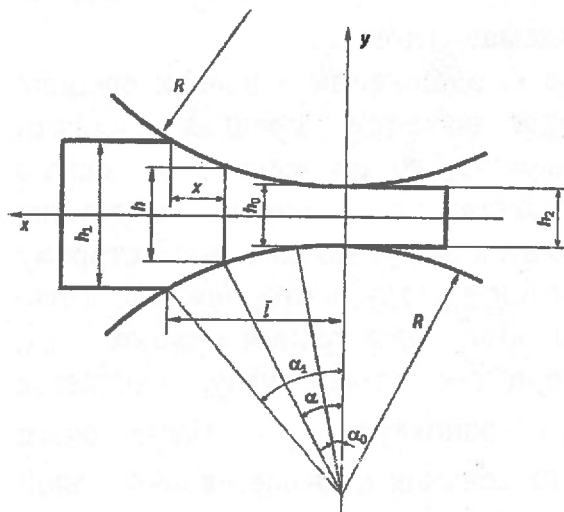


Рис.1. Кинематическая схема

Предполагается, что вся деформация полосы происходит в очаге деформации.

Основные параметры деформирования полосы следующие:

- закон изменения толщины полосы в очаге деформации

$$h = h_2 + 2R(1 - \cos \alpha); \quad (1.2)$$

- абсцисса текущей точки на дуге контакта

$$x = R \sin \alpha; \quad (1.3)$$

- длина очага деформации

$$\bar{l} = R \sin \alpha_1; \quad (1.4)$$

- радиус деформированной поверхности валка

$$R = R_0 \left[1 + \frac{P_y}{C \Delta h} \right], \quad (1.5)$$

причем

$$C = \frac{\pi E}{16(1 - \mu^2)} \quad (1.6)$$

Здесь R – радиус деформированной поверхности валка; α_1 – угол захвата полосы между валками ($\alpha_1 = \max \alpha$); E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона материала валков; P_y – вертикальная проекция действующих на валок сил, приходящихся на единицу ширины полосы; $\Delta h = h_1 - h_2$ – изменения толщины листа при прокатке.

Полагается, что если ширина полосы b более чем в 5 раз превышает диаметр валков, то деформацию вдоль ширины полосы можно принять равной

нулю. При этом, воспользовавшись условием несжимаемости материала, получим закономерность изменения средних скоростей перемещений v в направлении прокатки в виде:

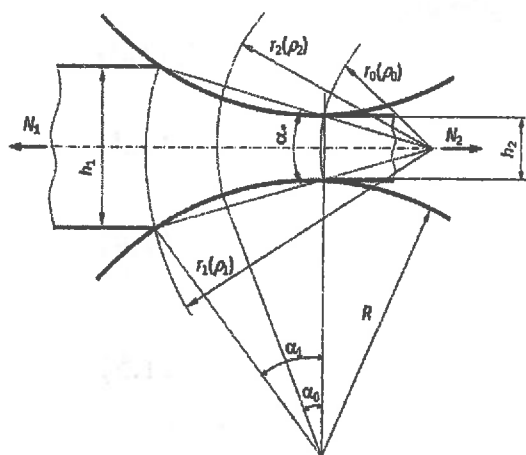
$$v = \frac{v_1 h_1}{h} = \frac{v_2 h_2}{h}, \quad (1.7)$$

где v_1, v_2 – соответственно средние скорости перемещений на входе и выходе из валков, h – текущая толщина полосы, определяемая углом α .

Из выражения (1.7) видно, что по мере продвижения в валках средняя скорость v возрастает. Очевидно, что если на входе средняя скорость перемещения меньше окружной скорости валков, то на выходе из валков указанная скорость больше окружной. Это означает, что на начальном участке контакта полосы и валков силы, действующие на полосу, направлены в сторону движения металла, а на участке, примыкающем к выходу, в сторону, обратную движению. Угловую координату точки, в которой силы трения меняют знак, обозначим через x_0 . Сечение, соответствующее этому углу, считается нейтральным, а толщина полосы при этом равняется h_0 . Часть очага деформации от входа в валки до нейтрального сечения называется /1-3/ зоной отставания, а другая часть от нейтрального сечения – зоной опережения.

В соответствие принятому допущению (1.7) рассмотрим двумерную задачу прессования полосы.

2. Постановка задачи. Предполагается, что в процессе прокатки полосы угол захвата валков малый. Это означает, что определения энергосиловых и



кинематических параметров технологической операции может быть привлечено проведенное /1, 4, 5/ исследование течения материалов в клиновидном сходящемся канале с углом при вершине α^* (рис. 2). Иными словами, дуга контакта заменяется прямой линией.

Рис. 2. К постановке задачи

Считается, что процесс прокатки реализуется в изотермических условиях в диапазоне температур, не выходящих за термический интервал сверхпластичности промышленных алюминиевых сплавов /6/.

Введем цилиндрическую систему координат rxz , причем начало координат разместим в вершине клина.

Математическая формулировка задачи включает:

– дифференциальные уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\rho\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\alpha}{\rho} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{\rho\alpha}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_\alpha}{\partial \alpha} + \frac{2\tau_{\rho\alpha}}{\rho} = 0; \quad (2.1)$$

– кинематические соотношения

$$\dot{\varepsilon}_\rho = \frac{\partial v_\rho}{\partial \rho}; \quad \dot{\varepsilon}_\alpha = \frac{v_\rho}{\rho}; \quad \dot{\gamma}_{\rho\alpha} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial v_\rho}{\partial \alpha}; \quad (2.2)$$

– условие несжимаемости в скоростях

$$\dot{\varepsilon}_\rho + \dot{\varepsilon}_\alpha = 0; \quad (2.3)$$

– определяющие соотношения в уравнении теории упругопластических процессов малой кривизны /7/

$$\sigma_\rho - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\varepsilon}_u} \dot{\varepsilon}_\rho; \quad \sigma_\alpha - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\varepsilon}_u} \dot{\varepsilon}_\alpha; \quad \tau_{\rho\alpha} = \frac{\sigma_u}{3\dot{\varepsilon}_u} \dot{\gamma}_{\rho\alpha}; \quad 3\sigma_0 = \sigma_\rho + \sigma_\alpha; \quad (2.4)$$

– уравнение состояния /6/ в форме зависимости интенсивности напряжений от интенсивности скоростей деформаций

$$\sigma_u = 1 - m_0 - \beta + (3m_0 + \beta)\varepsilon_u - 3m_0\dot{\varepsilon}_u^2 + m_0\dot{\varepsilon}_u^3, \quad (2.5)$$

здесь $\sigma_{ij}, \dot{\varepsilon}_{ij}$ – составляющие тензоров напряжений и скоростей деформаций, отнесенные соответственно к альтернативным внутренним параметрам состояния $\sigma^*, \dot{\varepsilon}^*$, вектор скорости радиального перемещения v_ρ , отнесенный к величине $\dot{\varepsilon}^* b$, где b – ширина полосы, все линейные размеры считаются поделенными на величину b ($\rho = r/b; l = \bar{l}/b$), m_0 – постоянная материала, $\beta = \beta(\xi)$, где ξ – приведенная температура /6/.

Граничные условия будут формулироваться в процессе решения задачи.

3. Определение разрешающей функции. Зависимости (2.2) подставим в условие несжимаемости (2.3). Имеем

$$\frac{\partial v_\rho}{\partial \rho} + \frac{v_\rho}{\rho} = 0. \quad (3.1)$$

Интеграл полученного дифференциального уравнения будет равен

$$v_\rho = \frac{K(\alpha)}{\rho}, \quad (3.2)$$

где $K(\alpha)$ – неизвестная функция, подлежащая установлению.

Воспользовавшись (3.2), для компонент скоростей деформаций можем записать

$$\dot{\varepsilon}_\rho = -\frac{k(\alpha)}{\rho^2}; \quad \dot{\varepsilon}_\alpha = \frac{k(\alpha)}{\rho^2}; \quad \dot{\gamma}_{\rho\alpha} = \frac{k'(\alpha)}{\rho^2}. \quad (3.3)$$

Интенсивность скоростей деформаций определяется известной формулой

$$\dot{\varepsilon}_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[(\dot{\varepsilon}_\rho - \dot{\varepsilon}_\alpha)^2 + (\dot{\varepsilon}_\alpha - \dot{\varepsilon}_z)^2 + (\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}_\rho)^2 + \frac{3}{2} (\dot{\gamma}_{\rho\alpha}^2 + \dot{\gamma}_{\alpha z}^2 + \dot{\gamma}_{z\rho}^2) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3.4)$$

В условиях радиального течения $\dot{\varepsilon}_z = \dot{\gamma}_{\alpha z} = \dot{\gamma}_{z\rho} = 0$. Следовательно,

$$\dot{\varepsilon}_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[(\dot{\varepsilon}_\rho - \dot{\varepsilon}_\alpha)^2 + \dot{\varepsilon}_\alpha^2 + \dot{\varepsilon}_\rho^2 + \frac{3}{2} \dot{\gamma}_{\rho\alpha}^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3.5)$$

Поставив (3.3) в (3.5), для интенсивности скоростей деформаций получим

$$\dot{\varepsilon}_u = \frac{1}{\rho^2} L^{\frac{1}{2}}(\alpha), \quad (3.6)$$

где

$$L(\alpha) = \frac{1}{3} [4k^2(\alpha) + k'^2(\alpha)]. \quad (3.7)$$

Определяющие соотношения (2.4) с учетом (3.6), (3.7) примут вид

$$\sigma_\rho - \sigma_0 = -\frac{2}{3} T(\alpha, \rho) k(\alpha); \quad \sigma_\alpha - \sigma_0 = \frac{2}{3} T(\alpha, \rho) k(\alpha); \quad \tau_{\rho\alpha} = \frac{1}{3} T(\alpha, \rho) k'(\alpha), \quad (3.8)$$

причем

$$T(\alpha, \rho) = (1 - m_0 - \beta) L^{\frac{1}{2}}(\alpha) + \frac{3m_0 + \beta}{\rho^2} - \frac{3m_0}{\rho^4} L^{\frac{1}{2}}(\alpha) + \frac{m_0}{\rho^6} L(\alpha). \quad (3.9)$$

Очевидно, что составляющие напряжений, скоростей перемещений и деформаций будут найдены, если установлен явный вид функции $k(\alpha)$, которую назовем разрешающей.

Для описания вида функции $k(\alpha)$ поставим соотношение (3.8) в дифференциальное уравнение (2.1). Имеем

$$3 \frac{\partial \sigma_0}{\partial \rho} = 2 \frac{\partial T}{\partial \rho} k - \frac{1}{\rho} \frac{\partial T}{\partial \alpha} k' - \frac{1}{\rho} T k'' + \frac{4}{\rho} T k; \quad 3 \frac{\partial \sigma_0}{\partial \alpha} = -\rho \frac{\partial T}{\partial \rho} k' - 2 \frac{\partial T}{\partial \alpha} k - 4 T k'. \quad (3.10)$$

Продифференцируем первое равенство (3.10) по α , а второе - по ρ .

$$3 \frac{\partial^2 \sigma_0}{\partial \rho \partial \alpha} = 2 \frac{\partial^2 T}{\partial \rho \partial \alpha} k + 2 \frac{\partial T}{\partial \rho} k' - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 T}{\partial \alpha^2} k' - \frac{2}{\rho} \frac{\partial T}{\partial \alpha} k'' - \frac{1}{\rho} T k''' + \frac{4}{\rho} \frac{\partial T}{\partial \alpha} k + \frac{4}{\rho} T k'; \quad (3.11)$$

$$3 \frac{\partial^2 \sigma_0}{\partial \rho \partial \alpha} = 5 \frac{\partial T}{\partial \rho} k' - \rho \frac{\partial^2 T}{\partial \rho^2} k' - 2 \frac{\partial^2 T}{\partial \rho \partial \alpha} k - 4 \frac{\partial T}{\partial \rho} k'.$$

Приравняв друг другу правые части выражений (3.11), получим следующие дифференциальное уравнение:

$$4 \frac{\partial^2 T}{\partial \rho \partial \alpha} k + 7 \frac{\partial T}{\partial \rho} k' + \rho \frac{\partial^2 T}{\partial \rho^2} k' - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 T}{\partial \alpha^2} k' - \frac{2}{\rho} \frac{\partial T}{\partial \alpha} k'' - \frac{1}{\rho} T k''' + \frac{4}{\rho} \frac{\partial T}{\partial \alpha} k - \frac{4}{\rho} T k' = 0. \quad (3.12)$$

Несложно показать, что уравнение (3.12) удовлетворяется при условии, что разрешающая функция $k = k(\alpha)$ будет определяться интегрированием однородного дифференциального уравнения

$$k''' + 4k' = 0. \quad (3.13)$$

Решение уравнения (3.13) имеет вид

$$k(\alpha) = \frac{1}{2} c_1 \sin 2\alpha - \frac{1}{2} c_2 \cos 2\alpha + c_3, \quad (3.14)$$

где c_1, c_2, c_3 - произвольные постоянные интегрирования.

Одно граничное условие в форме равенства нулю касательного напряжения при $\alpha = 0$ можно записать в форме

$$\tau_{\rho\alpha}|_{\alpha=0} = 0. \quad (3.15)$$

Это условие равносильно $k'(0) = 0$ (третья формула (3.8) и, естественно, получается, что $c_0 = 0$. С учетом этого будем иметь

$$k(\alpha) = \frac{1}{2} c_1 \sin 2\alpha + c_3. \quad (3.16)$$

Далее полагаем, что контактное усилие равняется действующему касательному напряжению, которое составляет часть максимального касательного напряжения /7/.

Иными словами

$$\tau_{\rho\alpha} \Big|_{\alpha=\frac{\alpha^*}{2}} = -\chi \tau_{\max} \Big|_{\alpha=\frac{\alpha^*}{2}}, \quad (3.17)$$

где χ — коэффициент пропорциональности, устанавливаемый экспериментально, причем знак (-) относится к зоне отставания, а знак (+) — к зоне опережения.

Величина $\tau_{\max}$ определяется известной формулой

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{\rho} - \sigma_{\alpha})^2 + 4\tau_{\rho^2\alpha}}. \quad (3.18)$$

Подставляя в (3.17), (3.18) компоненты напряжений (3.8) при $\alpha = \frac{\alpha^*}{2}$, после несложных преобразований получим формулу связи между постоянными c_1 и c_3 в виде

$$c_3 = \frac{c_1}{2} \psi(\alpha^*, \chi), \quad (3.19)$$

где для $\psi(\alpha^*, \chi)$ получено выражение

$$\psi(\alpha^*, \chi) = \frac{\sqrt{1-\chi^2}}{\chi} \cos \alpha^* - \sin \alpha^*. \quad (3.20)$$

С учетом (3.19), (3.20) функция $k = k(\alpha)$ (3.18) принимает вид

$$k(\alpha) = \frac{c_1}{2} (\sin 2\alpha + \psi). \quad (3.21)$$

Очевидно, что явное выражение для разрешающей функции $k = k(\alpha)$ будет установлено после определения постоянной c_1 .

4. Анализ поля скоростей перемещений и деформаций. Считаем /1, 8/, что очаг деформации

представляется в форме клина, ограниченного двумя поверхностями разрыва скоростей $\rho_1 = \rho_1(\alpha)$, $\rho_2 = \rho_2(\alpha)$ (рис. 2). Для определения уравнений указанных поверхностей запишем сначала условия равенства скоростей, нормальных поверхности разрыва слева и справа на входе в валки (рис.3)

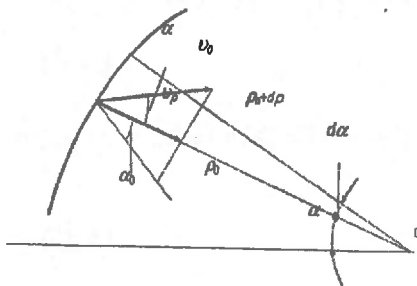


Рис. 3. К выводу уравнения поверхности разрыва скоростей перемещений на входе в очаг деформации.

3). Имеем

$$v_0 \cos(\alpha + \alpha_p) = v_p \cos \alpha_p, \quad (4.1)$$

причем v_0 будем рассматривать как среднюю скорость перемещения металла на входе в очаг деформации, а v_p , как и выше, скорость радиального перемещения.

Далее, решая (4.1) относительно v_p , получаем:

$$v_p = v_0 (\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha_p), \quad (4.2)$$

Здесь /5/

$$\operatorname{tg} \alpha_p = -\frac{d\rho_1}{\rho_1 d\alpha}. \quad (4.3)$$

Поскольку для величины v_p записано выражение (3.2), то используя (4.2) и (4.3)

$$\frac{k(\alpha)}{\rho_1} = v_0 \left(\cos \alpha + \sin \alpha \frac{d\rho_1}{\rho_1 d\alpha} \right);$$

или

$$\frac{k(\alpha)}{\rho_1} = v_0 \left(\cos \alpha + \sin \alpha \frac{\rho_1'}{\rho_1} \right). \quad (4.4)$$

После приведения (4.4) к общему знаменателю правую часть выражения (4.4) можно свернуть и переписать так

$$k(\alpha) = v_0 (\rho_1 \sin \alpha)'. \quad (4.5)$$

Интегрируя (4.5), будем иметь

$$\int_0^\alpha k(\alpha) d\alpha = v_0 \rho_1 \sin \alpha. \quad (4.6)$$

Левая часть равенства (4.6) легко вычисляется, если подставить в него (3.24) имеем

$$\frac{c_1}{2} \int_0^\alpha (\sin 2\alpha + \psi) d\alpha = \frac{c_1}{4} (2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha). \quad (4.7)$$

Приравнявая друг другу (4.6) и (4.7), для функции $\rho_1 = \rho_1(\alpha)$ получаем

$$\rho_1 = \frac{c_1}{4v_0} \frac{2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha}{\sin \alpha}. \quad (4.8)$$

Аналогично (4.8) получаем уравнение для поверхности разрыва скоростей на выходе из валков в виде

$$\rho_2 = \frac{c_1(1-\Lambda)}{4v_0} \frac{2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha}{\sin \alpha}, \quad (4.9)$$

где Λ – обжатие полосы (1.1), причем уравнение (4.9) получено с привлечением условия несжимаемости.

Вычислим теперь секундный объем, проходящий через поверхность $\rho_1 = \rho_1(\alpha)$ в очаге деформации

$$W_c = \iint_A v_\rho|_{\rho=\rho_1} dA, \quad (4.10)$$

Здесь A – площадь поверхности $\rho_1 = \rho_1(\alpha)$.

Если учесть, что в цилиндрических координатах элемент площади $dA = \rho d\alpha dz$, то для секундного объема, приходящегося на единицу ширины полосы, получим

$$W_c = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} v_\rho|_{\rho=\rho_1} \rho_1 d\alpha. \quad (4.11)$$

Примем во внимание формулу (3.2), которая при $\rho = \rho_1$ будет иметь вид

$$v_\rho|_{\rho=\rho_1} = \frac{k(\alpha)}{\rho_1}. \quad (4.12)$$

Подставив (4.12) в (4.11), можем записать

$$W_c = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} k(\alpha) d\alpha. \quad (4.13)$$

Определенный интеграл (4.13) будет, используя (4.7), равен

$$W_c = \frac{c_1}{2} (\psi \alpha^* + 1 - \cos \alpha^*). \quad (4.14)$$

Воспользовавшись теперь теоремой о среднем, получим

$$2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} k(\alpha) d\alpha = v_0 \alpha^*. \quad (4.15)$$

Из сопоставления (4.14) и (4.15) установим величину c_1 , которая будет определяться выражением

$$c_1 = \frac{v_0}{\bar{\psi}}, \quad (4.16)$$

где

$$\bar{\psi} = \frac{\alpha^*}{1 + \psi \alpha^* - \cos \alpha^*}, \quad (4.17)$$

причем для $\psi = \psi(\alpha^*, \chi)$ имеем выражение (3.23).

Теперь в окончательном выражении можно привести формулы для определения

– разрешающей функции

$$k(\alpha) = \frac{v_0}{\bar{\psi}} (\sin 2\alpha + \psi); \quad (4.18)$$

– скорости радиального перемещения

$$v_\rho = \frac{v_0}{\bar{\psi} \rho} (\sin 2\alpha + \psi); \quad (4.19)$$

– функции $\rho_1(\alpha)$, $\rho_2(\alpha)$, ограничивающих в радиальном направлении очаг пластической деформации

$$\rho_1(\alpha) = \frac{2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha}{2\bar{\psi} \sin \alpha}; \quad \rho_2(\alpha) = (1 - \Lambda) \frac{2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha}{2\bar{\psi} \sin \alpha}; \quad (4.20)$$

– скоростей деформаций

$$\dot{\varepsilon}_\rho = -\frac{v_0}{\rho^2 \bar{\psi}} (\sin 2\alpha + \psi); \quad \dot{\varepsilon}_\alpha = \frac{v_0}{\rho^2 \bar{\psi}} (\sin 2\alpha + \psi); \quad \dot{\gamma}_{\rho\alpha} = \frac{2v_0}{\bar{\psi}} \cos 2\alpha. \quad (4.21)$$

Здесь для $\psi = \psi(\alpha^*, \chi)$, $\bar{\psi} = \bar{\psi}(\alpha^*, \bar{\psi})$ соответственно получено (3.23), (4.17).

Автор выражает благодарность проф. Я.И.Рудаеву и доц. С.М.Сулаймановой за оказанную помощь в этой работе.

Список литературы

1. Малинин Н.Н. Технологические задачи пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1979. – 119 с.
2. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. – 400 с.
3. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства. – СПб.: Наука, 2005. – 540 с.
4. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Наука, 1969.
5. Соколовский В.В. Теория пластичности. – М.: Высшая школа, 1969. – 608 с.
6. Рудской А.И., Рудаев Я.И. Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов. – СПб.: Наука. – 218 с.
7. Кийко И.А. Пластическое течение металлов/ Научные основы прогрессивной техники и технологий. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 105-133.
8. Рудаев Я.И. Моделирование прессопрокатки листа с использованием сверхпластичности // Научно-технические ведомости СПО ГПУ. – 2005. – № 2. – С. 57-64.

УДК 622.831 (575.2) (04)

Б.А.Ботоканова, Б.Жумабаев

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВОКРУГ ТОННЕЛЯ С ОВАЛЬНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

В работе /1/ даны программа и методика расчета тоннелей. В этой работе рассматривается тоннель с овальным поперечным сечением, когда сечение ориентировано горизонтально и вертикально.

Исходные данные для моделирования форм и размеров отверстий.

$$R1 := 0.68 \quad \delta_{\alpha} := 0. \quad R_{\alpha} := 1$$

$$d1 := 0.471 \quad d2 := 0. \quad d3 := -0.055 \quad d4 := 0. \quad d5 := 0.$$

Здесь R – коэффициент для увеличения или уменьшения размеров отверстия; δ – параметр (в радианах) для установления ориентации оси симметрии отверстия относительно горизонтальной оси.

Константы для граничных условий на контуре отверстия от начального напряженного состояния:

$$\begin{aligned} S_x &:= -20 & S_y &:= -15 & S_{xy} &:= 10 & P &:= 0 \\ N1 &:= \frac{(S_x + S_y) \cdot R \cdot e^{i \cdot \delta}}{2} & N3 &:= \overline{N1} & N2 &:= \frac{(S_y - S_x - 2 \cdot i \cdot S_{xy}) \cdot R \cdot e^{-i \cdot \delta}}{2} & N4 &:= \overline{N2} \\ N1 &= -17.5 & N3 &= -17.5 & N2 &= 2.5 - 10i & N4 &= 2.5 + 10i \end{aligned}$$

Здесь S_x – горизонтальная компонента; S_y – вертикальная компонента; S_{xy} – касательная компонента начального напряженного состояния, которое имеет место до образования отверстия, P – внутреннее давление, например гидростатический напор.

Расчетные формулы для определения формы и сетка разбиения исследуемой области, где в узлах сетки будет вычислены компоненты напряжений:

$$\begin{aligned} \rho &:= 1..2 & \theta &:= 0..2 \cdot \pi & \zeta(\rho, \theta) &:= \rho \cdot e^{i \cdot \theta} \\ \omega_0(\rho, \theta) &:= \left(\frac{d1}{\zeta(\rho, \theta)} + \frac{d2}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{d3}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{d4}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{d5}{\zeta(\rho, \theta)^5} \right) \\ \omega_{01}(\rho, \theta) &:= \frac{-d1}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{-2 \cdot d2}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{-3 \cdot d3}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-4 \cdot d4}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{-5 \cdot d5}{\zeta(\rho, \theta)^6} \\ \omega_{02}(\rho, \theta) &:= \left(\frac{2 \cdot d1}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{6 \cdot d2}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{12 \cdot d3}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{20 \cdot d4}{\zeta(\rho, \theta)^6} + \frac{30 \cdot d5}{\zeta(\rho, \theta)^7} \right) \cdot e^{i \cdot \delta} \\ \omega_{03}(\rho, \theta) &:= \left(\frac{-6 \cdot d1}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-24 \cdot d2}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{-60 \cdot d3}{\zeta(\rho, \theta)^6} + \frac{-120 \cdot d4}{\zeta(\rho, \theta)^7} + \frac{-210 \cdot d5}{\zeta(\rho, \theta)^8} \right) \\ \alpha(\rho, \theta) &:= R \cdot e^{i \cdot \delta} \cdot (\zeta(\rho, \theta) + \omega_0(\rho, \theta)) & \omega(\rho, \theta) &:= (\zeta(\rho, \theta) + \omega_0(\rho, \theta)) \cdot R \cdot e^{i \cdot \delta} \\ \omega_{p1}(\rho, \theta) &:= (1 + \omega_{01}(\rho, \theta)) \cdot R \cdot e^{i \cdot \delta} & \omega_{p2}(\rho, \theta) &:= R \cdot \omega_{02}(\rho, \theta) \\ \omega_{0c}(\rho, \theta) &:= d1 \cdot \zeta(\rho, \theta) + d2 \cdot \zeta(\rho, \theta)^2 + d3 \cdot \zeta(\rho, \theta)^3 + d4 \cdot \zeta(\rho, \theta)^4 + d5 \cdot \zeta(\rho, \theta)^5 \\ \omega_{0pc}(\rho, \theta) &:= -d1 \cdot \zeta(\rho, \theta)^2 - 2 \cdot d2 \cdot \zeta(\rho, \theta)^3 - 3 \cdot d3 \cdot \zeta(\rho, \theta)^4 - 4 \cdot d4 \cdot \zeta(\rho, \theta)^5 - 5 \cdot d5 \cdot \zeta(\rho, \theta)^6 \\ \omega_c(\rho, \theta) &:= R \cdot e^{-i \cdot \delta} \cdot \left(\frac{1}{\zeta(\rho, \theta)} + \omega_{0c}(\rho, \theta) \right) & \omega_{cp}(\rho, \theta) &:= R \cdot e^{-i \cdot \delta} \cdot (1 + \omega_{0pc}(\rho, \theta)) \\ x1(\rho, \theta) &:= \operatorname{Re}(\alpha(\rho, \theta)) & y1(\rho, \theta) &:= \operatorname{Im}(\alpha(\rho, \theta)) & z1(\rho, \theta) &:= 0.2 \\ xy(\rho, \theta) &:= \begin{pmatrix} x1(\rho, \theta) \\ y1(\rho, \theta) \\ z1(\rho, \theta) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

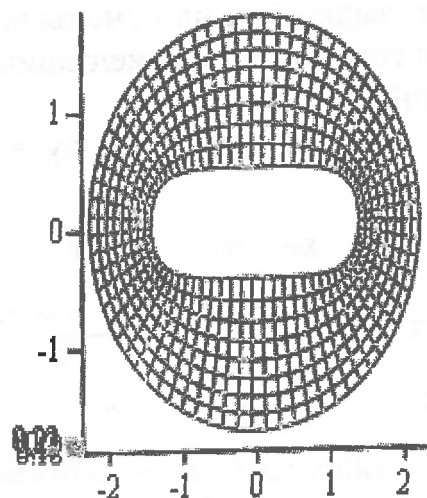


Рис. 1. Расчетная схема овального отверстия.

Найденные в [1] комплексные потенциалы полностью определяются как решение системы алгебраических уравнений. Результаты решений для горизонтального и вертикального расположений тоннелей приведены ниже:

$$MR = \begin{pmatrix} 5.423 + 10.627i \\ 0 \\ -1.032 \\ 5.423 - 10.627i \\ 0 \\ -1.032 \end{pmatrix} \quad \text{— для горизонтального расположения тоннеля;}$$

$$MR = \begin{pmatrix} 10.418 + 7.792i \\ 0 \\ -0.702i \\ 10.418 - 7.792i \\ 0 \\ 0.702i \end{pmatrix} \quad \text{— для вертикального расположения тоннеля.}$$

$\sigma_r(1, \theta) =$

$3.553 \cdot 10^{-15}$
0
$4.263 \cdot 10^{-14}$
$-8.882 \cdot 10^{-15}$
$4.263 \cdot 10^{-14}$
$5.329 \cdot 10^{-15}$
$-6.75 \cdot 10^{-14}$
$7.105 \cdot 10^{-15}$
$1.066 \cdot 10^{-14}$
$-3.553 \cdot 10^{-15}$
$-3.02 \cdot 10^{-14}$
$-1.599 \cdot 10^{-14}$
$-1.066 \cdot 10^{-14}$
$3.553 \cdot 10^{-15}$
$1.776 \cdot 10^{-15}$
...

 $\tau_{r\theta}(1, \theta) =$

$-2.487 \cdot 10^{-14}$
$2.842 \cdot 10^{-14}$
$-1.776 \cdot 10^{-15}$
$3.908 \cdot 10^{-14}$
$4.974 \cdot 10^{-14}$
0
$2.398 \cdot 10^{-14}$
$-1.332 \cdot 10^{-15}$
$8.527 \cdot 10^{-14}$
$3.197 \cdot 10^{-14}$
$-1.066 \cdot 10^{-14}$
$-2.842 \cdot 10^{-14}$
$-1.421 \cdot 10^{-14}$
0
$3.553 \cdot 10^{-15}$
...

 $\sigma_\theta(1, \theta) =$

-48.173
-61.141
-75.496
-90.43
-103.673
-111.621
-111.208
-102.494
-88.755
-73.886
-60.372
-49.126
-40.152
-33.099
-27.56
...

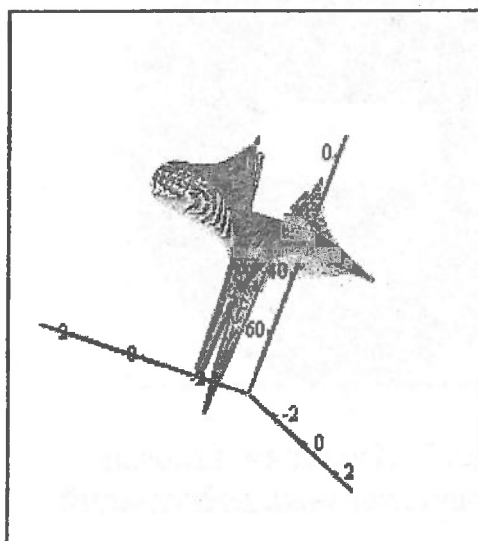


Рис. 2. Поверхность горизонтальных нормальных напряжений

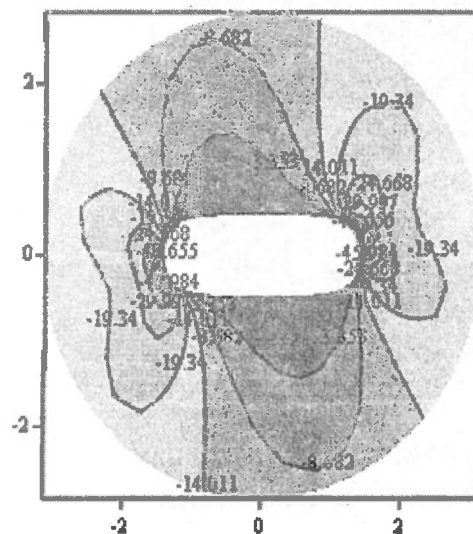


Рис. 3. Изолинии вертикальных нормальных напряжений

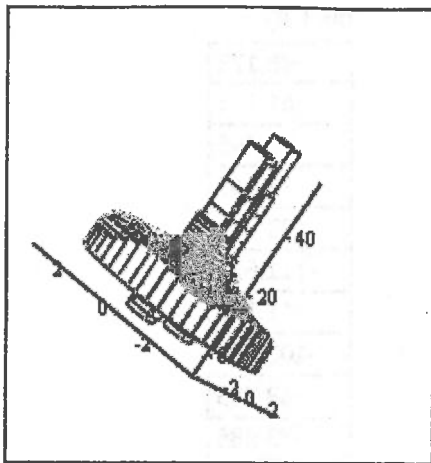


Рис. 4. Поверхность касательных напряжений

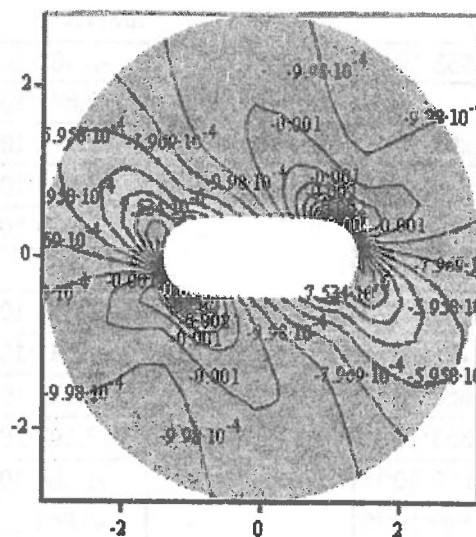


Рис. 5. Изолинии горизонтальных относительных деформаций

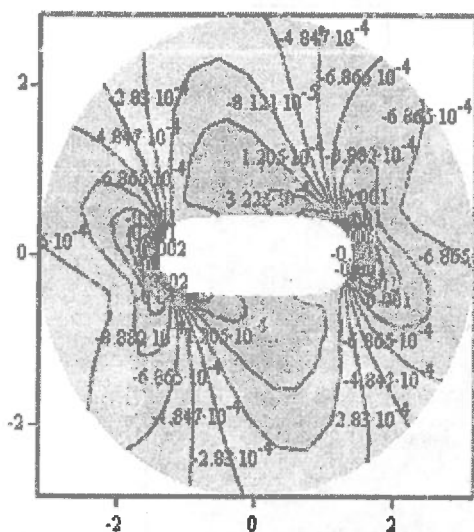


Рис. 6. Изолинии вертикальных относительных деформаций

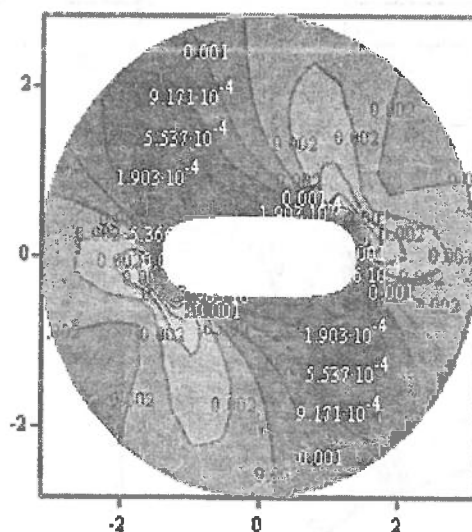


Рис. 7. Изолинии угловых относительных деформаций

Изменением исходных данных для $\delta_m := \frac{\pi}{2}$ будем моделировать тоннель с вертикальным овальным сечением. Результаты расчета напряжений и относительных деформаций приведены на рис. 8-13.

Граничные условия в этом случае выполняются с достаточной точностью, как приведено в таблицах.

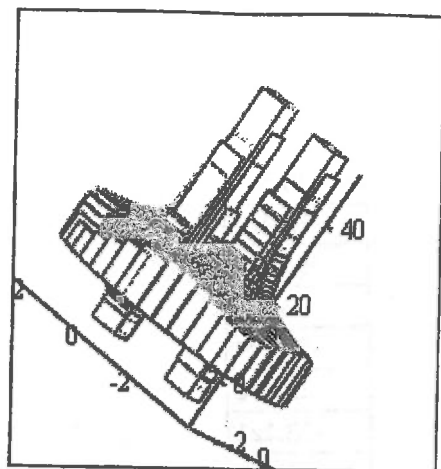


Рис. 10. Поверхность касательных напряжений

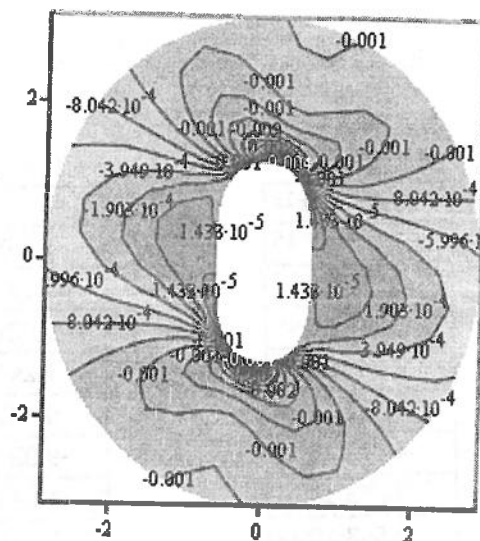


Рис. 11. Изолинии горизонтальных
относительных деформаций

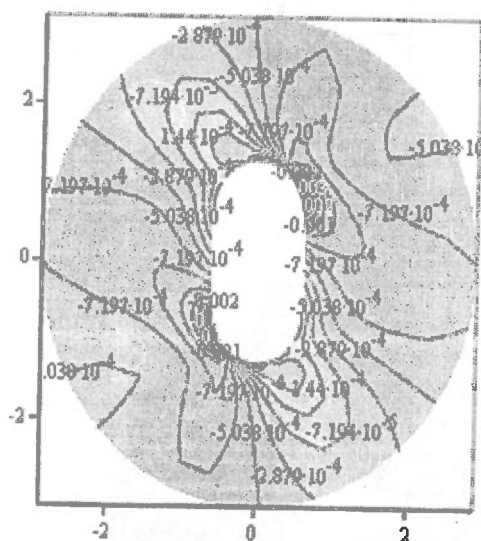


Рис. 12. Изолинии вертикальных относительных деформаций

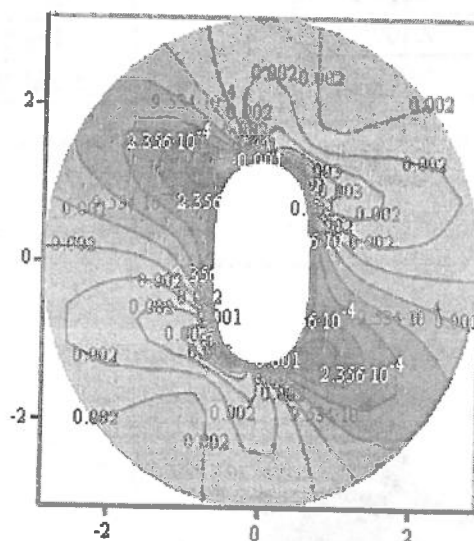


Рис. 13. Изолинии угловых относительных деформаций

Список литературы

1. Жумабаев Б., Аманалиев А.А., Ботоканова Б.А. Методика и программа расчета напряжений вокруг тоннелей (выработок) // Современные проблемы механики сплошных сред. – 2012. – Вып. 15. – С. 102-111.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОСАМОСВАЛЬНОГО ПАРКА НА РУДНИКАХ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время на рудниках Жезказганского месторождения работает 98 автосамосвалов, в том числе: TORO 40DM – 40, TORO 40D – 8, TORO 50 – 44, МоАЗ 7405-9586 – 6.

В начальный период строительства комбината в рудниках эксплуатировались автосамосвалы МоАЗ 7405-9586. С 1996 года по 2008 год были смонтированы и приступили к работе 94 автосамосвала типа TORO 40DM, TORO 40D, TORO 50+, МоАЗ 7405-9586, с 2008 года и по настоящее время вводятся в эксплуатацию автосамосвалы TORO 40DM, TORO 50+, оба финской фирмы. По мере строительства рудника и введения в строй новых мощностей увеличивался объем перерабатываемой горной массы (табл. 1).

В настоящее время автосамосвалы МоАЗ применяются на вспомогательных работах. На забоях работает 4 автосамосвала.

Таблица 1

Динамика роста объемов транспортирования руды на Жезказганском ГОКе

Год	Объемы работ по транспортированию руды, тыс.м ³ /год				
	МоАЗ 7405-9586	TORO 40D	TORO 40D M	TORO 50+	Всего
2000	-	8866	-	-	8866
2001	-	11760	-	-	11760
2002	-	13863	3892	-	17755
2003	-	14010	6044	-	20054
2004	-	14358	8868	906	24132
2005	1448	10049	10481	1597	23575
2006	1438	12210	14796	2449	30893
2007	1400	13752	15781	1924	31857
2008	1240	14493	13322	1915	30970

В том числе 18 автосамосвалов TORO 40DM и 5 – TORO 50+. На очистных и подготовительных работах на руднике используются 36 автосамосвалов, в том числе 20 – TORO 40DM, 14 – TORO 50+ и две машины МоАЗ 7405-9586.

Оснащение рудника мощными автосамосвалами делает чрезвычайно актуальными вопросы, связанные с использованием их во времени. Анализ простоев автосамосвалов (рис. 1) показывает, что основная доля времени простоев определяется невысокой приспособленностью конструкций автосамосвалов к проведению работ по техническому обслуживанию и ремонту, а также недостаточной надежностью конструкций машин. Анализ средних значений коэффициента технического использования автосамосвалов

(рис. 1) показывает, что наименьшая величина среднегодового коэффициента технического использования приходится на автосамосвалы МоАЗ 7405-9586, а наибольшая – на TORO 40DM и TORO 50+ (соответственно 0,597 и 0,339). При этом основная часть нерабочего времени приходится на плановые ремонты и ликвидацию аварии, что иллюстрируется табл. 2.

Плановые ремонты и устранение

Таблица 2

Наименование	Автосамосвалы			
	МоАЗ 7405-9586	TORO 40DM	TORO 40D	TORO 50+
Машинное время работы, %	100	100	100	100
Время на выполнение ГПР, % к машинному	47,1	32,6	21,3	14,5
Время устранения аварий, %	6,2	7,5	8,5	4,9
Сумма простоев, %	53,3	40,1	29,8	19,4

Наиболее высокие простои по отношению к машинному времени работы имеют автосамосвалы МоАЗ 7405-9586, а наименьшие – автосамосвалы TORO 50+ (процент простоев соответственно 53,3 и 19,4). TORO 40D больше других простаивают на устранений аварий (8,5 %). При проведении работ по техническому обслуживанию и ремонту наибольшее время затрачивается на автосамосвалы МоАЗ 7405-9586 – 47,1 % к машинному времени работы.

Простой, час

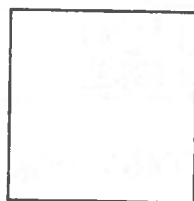


Рис. 1. Анализ простоев автосамосвалов

Из перечисленных парков автосамосвалов наиболее уязвимым с точки зрения надежности и срока службы является МоАЗ 7405-9586, поэтому объектом исследований выбрали его.

Анализ диаграмм, приведенных на рис. 1, показывает, что с увеличением периода эксплуатации машин увеличивается среднегодовое время проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Значительное время простоев автосамосвалов в плановых ремонтах и ликвидации аварий объясняется недостаточной приспособленностью машин к проведению ремонта и обслуживания, отсутствием средств механизаций выполнения ремонтных операций и недостаточной приспособленностью существующей системы планово предупредительного ремонта к сложным условиям эксплуатации машин.

Рост объемов очистных и подготовительных работ на рудниках, техническое перевооружение и недостаточная приспособленность машин к техническому обслуживанию и ремонту обусловили резкое увеличение объемов ремонтных работ подземных автосамосвалов.

Анализ использования автосамосвалов, работающих в условиях Жезказганского ГОКа, показал, что наибольший процент простоев приходится на плановые ремонты (14,5-47,1 %) и аварийные отказы (4,9-8,5 %), что подчеркивает актуальность исследований в этом направлении.

Наиболее высокими простоями по отношению к машинному времени работы обладают автосамосвалы МоАЗ 7405-9586, а наименьшими – автосамосвалы TORO 50+ (процент простоев соответственно 53,3 и 19,4).

Существующая организация и технология проведения ремонтов на рудниках Жезказганского ГОКа приводит к тому, что удельная фактическая численность ремонтного персонала превышает проектную в 3,48 раза, а удельная фактическая трудоемкость проведения ремонтов в 3,74 раза больше проектной. Средняя продолжительность капитальных ремонтов автосамосвалов МоАЗ превышает нормативное значение почти в три раза.

Поэтому необходимо проведение специальных исследований по сокращению трудоемкости ремонтных работ и повышению технологичности конструкций автосамосвалов с учетом конкретных горнотехнических условий Жезказганского месторождения.

УДК 624.012:626

М.Д.Кутуев, И.А.Суюнтбекова, А.Г.Шубович

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Исходя из концепций мирового уровня развития информационных технологий, следует более глубоко внедрять системы интеллектуального характера в элементы проектирования систем, в том числе гидротехнических сооружений /1, 2, 3/. Такими элементами являются базы знаний, позволяющие быстро и правильно найти решение в вопросе сооружений. Базы знаний предназначены для поиска ответа в работе гидротехнических сооружений. Так, базы знаний используются для проектирования плотин различного рода, дамб и т.д., они рассматривают лишь небольшую часть возможных вариантов

конструкций, но позволяют расширять информационную систему, запрограммированную на специальном языке.

Наиболее частый язык для написания программ – это язык WPF, который строится на основе Web-технологий. Так как программа построена на основе Web-технологий, она может быть доступной через сеть Интернет.

Современные базы знаний работают совместно с информационными системами поиска информации и имеют тщательно продуманную структуру и формат представления знаний.

База знаний – это информационная система, разработанная для оперирования знаниями. Полноценные базы знаний содержат в себе не только фактическую информацию, но и правила вывода, допускающие автоматические умозаключения о вновь вводимых фактах и, как следствие, осмысленную обработку информации. Следовательно, область знаний о гидротехнических сооружениях должна быть достаточно полная и продуманная. Для полноты получения данных информационная система должна содержать не только материал научных изысканий, но и возможности производить расчеты.

Иерархический способ представления в базе знаний набора понятий и их отношений между объектами и сведения о свойствах конкретных объектов необходимо строить на основе информационных систем. Такой способ построения информации позволяет создать возможность поиска способов решения проблем из некоторой предметной области, например, гидротехнических сооружений, основываясь на записях базы данных описания ситуации.

Простые базы знаний могут использоваться для создания технической информации по гидротехническим сооружениям. Главная цель создания таких баз – быстрый поиск решения какой-либо проблемы, связанной с проектированием плотин.

Для полноценной работы баз знаний необходимы следующие правила: достоверность конкретных и обобщенных сведений, имеющихся в базе данных, и релевантность информации, получаемой с помощью правил вывода базы знаний.

Проектирование сложных моделей гидротехнических сооружений возможно только на основе всестороннего и многовариантного анализа хранящейся в системе информации. Анализ созданной базы знаний производят компьютерные программы, благодаря чему аналитическая база имеет удобный интерфейс. Правильная организация созданной базы знаний позволит производить выборки и исчисления при проектировании гидротехнических сооружений. В настоящее время для этих целей используются OLAP-технологии, но они обладают жесткой структурой и имеют строгую проблемную ориентацию, рассчитанную на неизменность видов анализа, а также неизменность показателей, по которым проводится анализ. В отличие от OLAP, база знаний обеспечивает создание хранилища информации с «универсальной» структурой, инвариантной относительно разных видов анализа, разных видов прикладных задач и предметных областей с

возможностью гибкой и быстрой настройки системы на проведение любого вида анализа. На основе базы знаний возможно построение системы поддержки процесса принятия решения, используемого при анализе расчетов отдельных блоков гидротехнических сооружений.

Активная система обеспечивает управление сбором информации, самостоятельно (автоматически) решает, какая информация в текущий момент времени является наиболее важной, где она находится, какие процедуры должны быть осуществлены для ее получения и т.д. Система обеспечивает выполнение следующих функций:

- управление регулярным сбором информации по заранее определенной схеме с автоматическим формированием соответствующих запросов;
- контроль поступления информации и ее соответствия запросам;
- выявление и прогнозирование возможности возникновения экстраординарных ситуаций;
- нужную информацию и формирование разовых запросов.

При построении баз знаний необходимо учитывать способы считывания данных из информационной системы во внутренние структуры (массивы вопросов, правил, атрибутов и гипотез) базы знаний. Если количество данных не соответствует ожиданиям, выдается сообщение об ошибке, и переход на следующий этап не выполняется.

Далее, принимаются и анализируются ответы на запросы, полученные из информационной системы.



Рис.1. Примерная схема алгоритма работы баз знаний

База знаний просматривает массив правил, проверяет условие срабатывания каждого правила, если в нем отсутствуют еще не определенные элементы. Если условие выполняется, производится выполнение действия, которое может включать в себя команды поиска данных в информационной системе, а также вывода дополнительного текста.

Затем программа проверяет условия подтверждения гипотез. Если хотя бы одно условие найдено, работа программы завершается, и список данных выводится на экран. Если подтвердившихся данных нет, программа просматривает список вопросов, находит первый вопрос, ответ на который ей неизвестен (не задан пользователем или не определен правилом), и отображает его пользователю. Если такого вопроса не найдено, программа выводит сообщение о неполноте базы знаний. В конце работы программа выводит таблицу значений ответов на вопросы и атрибутов.

Схема алгоритма работы программы приведена на рис. 1. При приеме каждого нового ответа происходит новый запуск программы. Значения ответов сохраняются между запусками с использованием механизма сессий РНР. Данная база знаний работает по схеме обратного логического вывода: она старается получить ответы на вопросы от пользователя или путем применения правил логического вывода, и просматривает список гипотез, пытаясь найти гипотезу, удовлетворяющую полученным данным. В отличие от информационной системы база знаний с логическим выводом пытается подобрать знания на поставленный вопрос, чтобы путем применения информации из баз данных получить правильный ответ.

В некоторых базах знаний может применяться как прямой, так и обратный поиск. Выбор информации зависит от типа задачи. Диагностические задачи лучше всего решаются с помощью обратного поиска, в то время как задачи проектирования проще всего поддаются решению с помощью прямого логического вывода.

Список литературы

1. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т., Шубович А.Г., Ешпулатов С.Е., Куканова Р.А. //Информационные системы в строительной механике. – Б., 2007.
2. Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А. Гидротехнические сооружения. Часть I. – М.: АСВ, 2008. – С. 528.
3. Кутуев М.Д., Суюнтбекова И.А., Шубович А.Г. Труды международной научной конференции «Рахматулиньские чтения». – Бишкек, 2011.
4. Шубович А.Г. Совершенствование методик расчета многослойных панелей и балок с использованием новых информационных технологий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Бишкек, 2009.

УДК 69.01-624.012

М.Д.Кутуев, Б.С.Матозимов,
Р.А.Куканова, И.К.Маналбаев

РАСЧЕТ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

При проектировании жилых зданий и помещений производственного значения необходимо учитывать воздухопроницаемости ограждающих конструкций. Эта величина, в свою очередь, кроме других факторов зависит от климатических особенностей регионов Кыргызской Республики /8-10/.

Расчет воздухопроницаемости необходим для обеспечения гигиенических норм жилых и производственных помещений /1-7/.

Под действием ветра и теплового напора, возникающего при разности температур внутреннего и наружного воздуха, возможна фильтрация холодного наружного воздуха, которая может существенно изменить теплозащитные свойства ограждения.

Физический механизм переноса вещества в капиллярно-пористых материалах значительно отличается от механизма переноса тепла. Перенос воздуха фильтрационного потока возникает в случаях, когда разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения превышает (по энергетическому уровню) сопротивление прохождению воздушного потока. Эти сопротивления возникают на наружной поверхности стены (в виде облицовки, отделки масляной краской, пластифицированных бетонов и др.) и в толще ограждения (в виде прослоек из пластмассы, битума, фольги и др.) /7/.

В качестве константы воздухопроницаемости материалов можно принять коэффициент воздухопроницаемости G , который показывает количество воздуха (кг), проходящее через равномерно пористый материал толщиной 1 м, сечением 1 м² в течение 1 ч при разности давлений 1 Па. Коэффициент воздухопроницаемости зависит от плотности и структуры материала и плотности сопряжений между отдельными элементами, т.е. герметичности стыков.

Сопротивление, оказываемое фильтрации воздуха ограждающей конструкцией, или воздухоизоляционные свойства строительных материалов и конструкций в целом или ее отдельными слоями характеризуются сопротивлением их воздухопроницанию R_{inf}^{des} , м²ч·Па/кг, которое должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию R_{inf}^{reg} , определяемого согласно разделу 8 СНиП КР 23-01.

Оно показывает разность давлений (Па), при которой поток воздуха через 1 м² ограждающей конструкции будет равен 1 кг/ч.

При заданном коэффициенте воздухопроницаемости материала G сопротивление воздухопроницанию R_{inf}^{des} определяется по формуле

$$R_{inf}^{des} = \delta / G, \quad (1)$$

где δ – толщина слоя материала, м.

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции R_{inf}^{des} , м²ч·Па/кг, следует определять по формуле

$$R_{inf}^{des} = R_{inf1} + R_{inf2} + \dots + R_{inf n}, \quad (2)$$

где $R_{inf1}, R_{inf2}, \dots, R_{inf n}$ – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, м²ч·Па/кг, принимаемые по табл. 2.

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций, за исключением заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей), зданий и сооружений R_{inf}^{des} должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию R_{inf}^{reg} , м²ч·Па/кг, определяемого по формуле

$$R_{inf}^{reg} = \Delta p / G_n \quad (3)$$

где Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, определяемая в соответствии с формулой (4);

G_n – нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций, кг/(м²·ч), следует принимать по табл. 1.

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций Δp , Па, следует определять по формуле

$$\Delta p = 0,55 H(\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0,03 \gamma_{ext} v^2, \quad (4)$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м; γ_{ext} , γ_{int} – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемый по формуле

$$\gamma = 3463/(273 + t), \quad (5)$$

t – температура воздуха:

внутреннего (для определения γ_{int}) – принимается согласно оптимальным параметрам по ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 30494-96 и действующим нормативным документам на санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям КР;

наружного (для определения γ_{ext}) – принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по таблице 1 СНиП КР 23-02;

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимаемая по табл. 6 СНиП КР 23-02; для зданий высотой свыше 60 м v следует принимать с учетом коэффициента изменения скорости ветра по высоте (по СП КР 23-101).

Сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых и общественных зданий, а также окон и фонарей производственных зданий R_{inf}^{des} должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию R_{inf}^{req} , м²·ч/кг, определяемого по формуле

$$R_{inf}^{req} = (1/G_n) \cdot (\Delta p / \Delta p_0)^{2/3}, \quad (6)$$

где $\Delta p_0 = 10$ Па – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях светопрозрачных ограждающих конструкций, при которой определяется сопротивление воздухопроницанию R_{inf}^{des} .

Оконные блоки и балконные двери в жилых и общественных зданиях следует выбирать согласно классификации воздухопроницаемости притворов по ГОСТ 26602.2-99: 3-этажных и выше – не ниже класса Б; 2-этажные и ниже – в пределах классов В-Д.

Средняя воздухопроницаемость жилых квартир и помещений общественных зданий (при закрытых приточно-вытяжных вентиляционных отверстиях) должна обеспечивать в период испытаний воздухообмен кратностью n_{50} , ч⁻¹, при разности давлений 50 Па наружного и внутреннего воздуха при вентиляции:

- с естественным побуждением $n_{50} \leq 4$ ч⁻¹;
- с механическим побуждением $n_{50} \leq 2$ ч⁻¹.

Кратность воздухообмена зданий и помещений при разности давлений 50 Па и их среднюю воздухопроницаемость определяют по ГОСТ 31167-2003.

Для городской застройки характерно уменьшение ветрового давления у поверхности земли и значительное повышение его в верхних этажах.

Таблица 1

Нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	Воздухопроницаемость G_n (кг/(м ² ·ч)), не более
1. Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных и бытовых зданий и помещений	0,5
2. Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
3. Стыки между панелями наружных стен:	
а) жилых зданий	0,5 *
б) производственных зданий	1,0 *
4. Входные двери в квартиры	1,5
5. Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
6. Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в деревянных переплетах; окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
7. Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в пластмассовых или алюминиевых переплетах	5,0
8. Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
9. Фонари производственных зданий	10,0
* в кг/(м·ч)	

При применении в жилых и общественных зданиях стен из сборных элементов (крупноразмерных панелей и блоков) необходимо обеспечивать малую проницаемость воздуха в стыках и сопряжениях между сборными элементами.

Расчетные сопротивления воздухопроницанию распространенных ограждений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сопротивление воздухопроницанию материалов и конструкций

№ п.п.	Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию R_{inf} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
1	2	3	4
1	Бетон сплошной (без швов)	100	19620
2	Газосиликат сплошной (без швов)	140	21
3	Известняк-ракушечник	500	6
4	Картон строительный (без швов)	1,3	64
5	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в 1 кирпич и более	250 и более	18
6	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	120	2
7	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в 1 кирпич и более	250 и более	9
8	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в полкирпича	120	1
9	Кладка кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	—	2
10	Кладка из легкогобетонных камней на цементно-песчаном растворе	400	13
11	Кладка из легкогобетонных камней на цементно-шлаковом растворе	400	1
12	Листы асбестоцементные с заделкой швов	6	196
13	Обои бумажные обычные	—	20

14	Обшивка из обрезных досок, соединенных впритык или вчетверо	20-25	0,1
15	Обшивка из обрезных досок, соединенных в шпунт	20-25	1,5
16	Обшивка из досок двойная с прокладкой между обшивками строительной бумаги	50	98
17	Обшивка из фибролита или из древесно-волоконистых бесцементных мягких плит с заделкой швов	15-70	2,5
18	Обшивка из фибролита или из древесно-волоконистых бесцементных мягких плит без заделки швов	15-70	0,5
19	Обшивка из жестких древесно-волоконистых листов с заделкой швов	10	3,3
20	Обшивка из гипсовой сухой штукатурки с заделкой швов	10	20
21	Пенобетон автоклавный (без швов)	100	1960
22	Пенобетон неавтоклавный	100	196
23	Пенополистирол	50-100	79
24	Пеностекло сплошное (без швов)	120	>2000
25	Плиты минераловатные жесткие	50	2
26	Рубероид	1,5	Воздухонепроницаем
27	Толь	1,5	490
28	Фанера клееная (без швов)	3-4	2940
29	Шлакобетон сплошной (без швов)	100	14
30	Штукатурка цементно-песчаным раствором по каменной или кирпичной кладке	15	373
31	Штукатурка известковая по каменной или кирпичной кладке	15	142
32	Штукатурка известково-гипсовая по дереву (по дроби)	20	17
33	Керамзитобетон плотностью 900 кг/м ³	250-400	13-17

34	То же, 1000 кг/м ³	250-400	53-80
35	То же, 1100-1300 кг/м ³	250-450	390-590
36	Шлакопемзобетон плотностью 1500 кг/м ³	250-400	0,3

Примечания: 1. Для кладок из кирпича и камней с расшивкой швов на наружной поверхности приведенное в настоящей таблице сопротивление воздухопроницанию следует увеличивать на 20 м²ч Па/кг.

2. Сопротивление воздухопроницанию воздушных прослоек и слоев ограждающих конструкций из сыпучих (шлака, керамзита, пемзы и т.п.), рыхлых и волокнистых (минеральной ваты, соломы, стружки и т.п.) материалов следует принимать равным нулю независимо от толщины слоя.

3. Для материалов и конструкций, не указанных в настоящей таблице, сопротивление воздухопроницанию следует определять экспериментально.

Сопротивление воздухопроницанию некоторых видов стыков приведено в табл.3.

Значения R_{inf} стыков панелей

Таблица 3

Характеристика стыков	Сопротивление воздухопроницанию на 1м. длины стыка, м ² ·ч·вод.ст./кг	Примечание
Стык прямой с нащельником при ширине щели 3мм	0,07	Приведенные данные получены экспериментально
Стык прямой с нащельниками и с прокладкой пергамина под ними	4	Приведенные данные получены экспериментально
Стык с округленными гранями плотно проконопаченный с двумя нащельниками по пергамину	6,7	То же
Стык ромбический с прокладкой асбестового шнура	4,2	»
Стык с рейкой в шпунтах	0,8	»

Окна и двери представляют наиболее слабые в физическом отношении элементы здания. Для уменьшения воздухопроницаемости окон и дверей и повышения их звукоизолирующей способности целесообразно в сопряжениях между створными и глухими переплетами, а также в притворах дверей

предусматривать уплотняющие упругие прокладки. Схемы некоторых сопряжений приводятся на рис. 1.

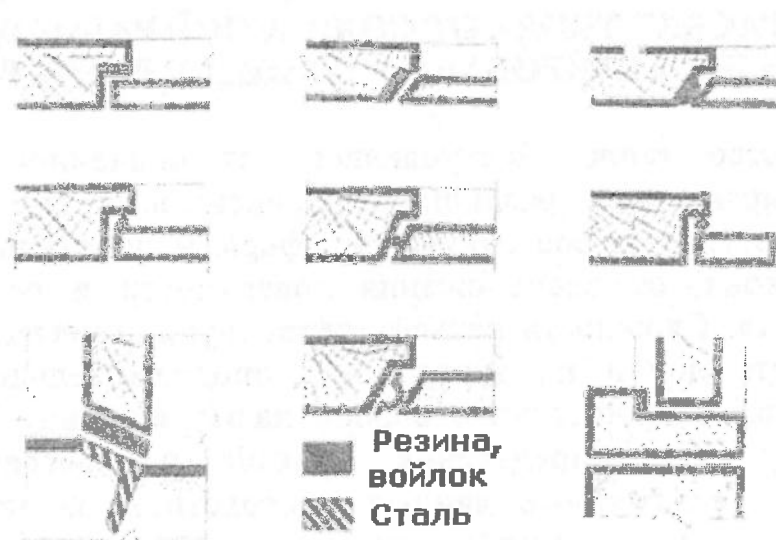


Рис. 1. Детали сопряжения между створными и глухими переплетами окон и дверей

Список литературы

1. Свод правил по проектированию и строительству Кыргызской Республики. СП КР 23-101:2009. «Проектирование тепловой защиты зданий».
2. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики. СНиП КР 23-01:2009. «Строительная теплотехника».
3. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики. СНиП КР 23-02-00. «Строительная климатология».
4. Свод правил по проектированию и строительству. СП 23-101-2004. «Проектирование тепловой защиты зданий»
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1970.
6. Гусев Н.М. Основы строительной физики. –М.: Стройиздат, 1975.
7. Ильинский В.Е. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1974.
8. web.manas.kg/cv/sbe/tkoychiyevkg.do... Концепция социально-экономического развития Кыргызской Республики на период до 2015 года. – Б.: 2008.
9. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т. Строительная механика. – Бишкек, 2008.
10. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т., Матозимов Б.С., Мамбетов Э.М. Теория и практика сейсмозащиты сооружений. – Бишкек: Алтын принт, 2010. – С. 370.

РАСЧЕТ ТЕПЛА ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ В РЕГИОНАХ КР

Количество тепла, поступающего от солнечной радиации, для регионов Кыргызстана различно в зависимости от географического положения местности, состояния атмосферы и подстилающего слоя для данного региона, от расположения поверхности и ее ориентации по сторонам света. Сложность рельефа территории, сочетание гор и долин, расчлененность долин по территории, продолжительность солнечного сияния оказывают значительное влияние на эту величину [1-4].

Поэтому для определения прямой и рассеянной радиации используются усредненные данные многолетних наблюдений местных метеостанций. Эти данные характеризуют наиболее вероятные поступления радиации с учетом облачности и типичного состояния атмосферы. Подробные сведения о поступлениях солнечной радиации приводятся в СНиП КР 23-02-00 «Климатология».

В общем случае количество солнечного тепла состоит из прямой, рассеянной и отраженной радиаций.

$$Q = S + D + R. \quad (1)$$

Количество тепла от прямой солнечной радиации, падающей на стену или окно, зависит от угла падения лучистого потока и от ориентации стены (окна) по сторонам света и равно

$$S^{ver} = S^{hor} \cos \beta, \quad (2)$$

где S^{hor} – количество тепла от прямой радиации, падающей на горизонтальную поверхность, ккал/(м²-ч); β – вертикальный угол между проекцией солнечного луча на плоскость, перпендикулярную фасаду, и горизонтом. Значение β определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{ctg} h_0 \cos \alpha, \quad (3)$$

где h_0 – высота стояния солнца, °; α – угол между проекцией солнечного луча на горизонтальную плоскость и перпендикуляром к фасаду; определяется разностью азимутов солнца и ориентации фасада, т.е. $\alpha^\circ = A^\circ - B^\circ$.

Количество тепла, падающее на стену (окно) от рассеянной радиации, независимо от ориентации и равно

$$D = 0,5 S^{hor}. \quad (4)$$

Отраженная радиация, падающая на стену (окно)

$$R^{ver} = 0,47 \rho_T (S^{hor} + D), \quad (5)$$

где S^{hor}, D – соответственно суммарные потоки тепла, обусловленные прямой и рассеянной радиацией; ρ_T – коэффициент отражения тепловой радиации (альбедо); 0,47 – коэффициент взаимного облучения горизонтальной и вертикальной поверхностей.

Тепловое воздействие наружной среды на ограждение складывается из воздействия солнечной радиации и температуры наружного воздуха. Исходными данными для теплофизического расчета ограждения в летних условиях служат:

1) количество тепловой солнечной радиации, падающей на поверхности (суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при безоблачном небе за каждый месяц года, МДж/м², приводится в табл.1).

Таблица 1

Месяц	Географическая широта, град. с. ш.			
	Бишкек 42°51'	Чолпон-Ата 42°36'	Тянь-Шань 41°55'	Суусамыр 42°09'
Январь	290	345	386	348
Февраль	378	413	486	450
Март	596	645	768	696
Апрель	757	810	898	832
Май	909	973	1085	987
Июнь	925	976	1089	982
Июль	906	971	1.054	966
Август	802	856	947	854
Сентябрь	620	690	746	676
Октябрь	487	516	575	536
Ноябрь	306	340	399	371
Декабрь	247	275	328	304
Год	7223	7810	8761	8002

Видно, что интенсивность прямой радиации на стены возрастает с увеличением географической широты местности. Максимальная радиация отмечается летом в период с 16 до 17 ч. Для горизонтальных поверхностей время максимальной радиации 12 ч;

2) количество тепла, поглощаемое поверхностью ограждения, которое зависит от коэффициента поглощения солнечной радиации ограждения ρ_c (значения ρ_c приводятся в табл. 2).

Таблица 2

Ограждение и материал поверхности	Цвет поверхности	ρ_c
Стена кирпичная оштукатуренная	Белый	0,25
	Темно-красный	0,7
Стена кирпичная с керамической облицовкой	Светло-красный	0,58
Стена бетонная	Светлый	0,65
	Темный	0,75
Кровля черепичная	Светло-красный	0,6
Кровля рубероидная	Светло-серый	0,85
Асфальт	Темно-серый	0,9
Земля	Светлый	0,7
	Темный	0,8
Известняк	Светлый	0,4
	Темный	0,7
Песчаник	Светлый	0,4
	Темный	0,75

Для упрощения расчета тепловое воздействие солнечной радиации заменяется дополнительной температурой наружного воздуха $t_{\text{экв}}$, действие которой на поверхности ограждения эквивалентно действию солнечной радиации на эту поверхность (эквивалентная температура солнечного облучения). Эта дополнительная температура определяется по формуле

$$t_{\text{экв}} = \frac{\rho_c Q}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (6)$$

где ρ_c – коэффициент поглощения поверхностью тепла солнечной радиации; α_{ext} – коэффициент теплообмена у наружной поверхности ограждения, ккал/(м² ч °С).

Сумму температуры наружного воздуха t_{ext} и эквивалентной температуры солнечной радиации $t_{\text{экв}}$ называют суммарной температурой наружного воздуха, которую вычисляют по формуле

$$t_{\text{сум}} = t_{\text{ext}} + \frac{\rho_c Q}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (7)$$

Амплитуда колебания температуры наружного воздуха в летний период складывается из амплитуды колебания наружного воздуха и амплитуды колебания эквивалентной температуры солнечной радиации. Максимальная солнечная амплитуда колебания температуры наружного воздуха A_t приближенно находится по формуле

$$A_t = 2(t_{13} - t_m), \quad (8)$$

где t_{13} – усредненная максимальная температура наружного воздуха в самом жарком месяце в 13 ч; t_m – средняя месячная температура наружного воздуха самого жаркого месяца.

При периодическом колебании солнечной радиации амплитуда ее колебания $A_{\text{рад}}$ определяется из выражения

$$A_{\text{рад}} = Q_{\text{max}} - Q_{\text{ср}} \quad (9)$$

где Q_{max} – максимальная интенсивность солнечной радиации; $Q_{\text{ср}}$ – средняя за сутки интенсивность солнечной радиации.

Амплитуда эквивалентной температуры выражается через амплитуду солнечной радиации по формуле

$$A_{\text{эке}} = \frac{\rho_c(Q_{\text{max}} - Q_{\text{ср}})}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (10)$$

Существует одно важное обстоятельство – максимумы амплитуд A_i и $A_{\text{эке}}$ по времени не совпадают. Поэтому максимальную амплитуду колебаний суммарной температуры наружного воздуха $A_{\text{сум}}$ приближенно определяют по формуле

$$A_{\text{сум}} = (A_{\text{эке}} + A_t) \varphi_1 \quad (11)$$

где φ_1 – коэффициент, учитывающий сдвиг фаз максимумов Q_{max} и t_{max} .

Коэффициент φ_1 зависит от разности времени максимумов солнечной радиации и температуры наружного воздуха $z_1 - z_2$ и от соотношения амплитуд $A_{\text{эке}} : A_t$.

Численные значения φ_1 приводятся в табл. 3.

Таблица 3

$\frac{A_{\text{эке}}}{A_t}$	Разница времени максимумов солнечной радиации и температуры наружного воздуха $z_1 - z_2$, ч				
	1	3	5	7	9
1	0,99	0,92	0,79	0,61	0,38
3	0,99	0,94	0,85	0,73	0,6
5	1	0,96	0,89	0,81	0,73

Амплитуда колебания температуры на внутренней поверхности ограждения находится по формуле

$$A_{\text{int П.}} = \frac{A_{\text{ext}}}{\gamma_1}, \quad (12)$$

где A_{ext} – амплитуда колебаний температуры наружной среды; γ_1 – затухание колебаний температуры наружного воздуха в ограждении.

Минимальные значения γ_1 приводятся в табл. 4.

Таблица 4

Вид ограждений	Значения γ_1 при температуре	
	от 25 до 29°C	от 30° С и выше
Покрытия бесчердачные и с чердаком	25	35
Стены, ориентированные на южную часть неба (от 0 до 90°)	15	25

Расчет суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности за отопительный период можно определять по следующему алгоритму.

Суммарная (прямая плюс рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность (покрытие, зенитные фонари) Q^{hor} , МДж/м², при действительных условиях облачности за отопительный период для климатического района строительства определяется по формуле

$$Q^{hor} = \sum_{i=1}^m Q_i^{hor}, \quad (13)$$

где Q_i^{hor} – суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности для i -го месяца отопительного периода, МДж/м², принимается по данным СП КР 23-101:2009; m – число месяцев отопительного периода со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже 8 °С, определяемое по СП КР 23-101:2009.

Суммарная (прямая, рассеянная и отраженная) солнечная радиация на вертикальную поверхность (стены и окна) Q_j^{ver} , МДж/м², при действительных условиях облачности за отопительный период определяется по формуле

$$Q_j^{ver} = \sum_{i=1}^m Q_i^{ver} = \sum_{i=1}^m (S_{ji}^{ver} + D_i^{ver} + R_i^{ver}) = \sum_{i=1}^m \left(S_i^{hor} k_{ij} + \frac{D_i^{hor}}{2} + \frac{Q_i^{hor} A_i^{cal}}{200} \right), \quad (14)$$

где S_{ji}^{ver} – прямая солнечная радиация на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода для j -й ориентации, МДж/м²; D_i^{ver} , R_i^{ver} – рассеянная и отраженная солнечная радиация на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода, МДж/м²; S_i^{hor} , D_i^{hor} – прямая и рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода, МДж/м², принимаются по данным СП КР 23-101:2009; m , Q_i^{ver} – то же, что и в формуле (12); A_i^{cal} – альbedo деваемой поверхности в i -м месяце отопительного периода, %, принимается по данным СП КР 23-101:2009; k_{ij} – коэффициент пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную i -го месяца отопительного периода для j -й ориентации, принимается по данным СП КР 23-101:2009.

Для ориентировочного расчета теплофизических свойств ограждений, имеющих тепловую инерцию $D > 2,5$, пользуются формулой В.Н.Богословского, которая не требует предварительного вычисления коэффициентов теплоусвоения поверхностей слоев ограждений [6, 7].

$$\gamma_{общ} = e^{0,7 \sum D} \left(0,83 + 3 \frac{\sum R}{\sum D} \right) \beta_{сл}, \quad (15)$$

где $\gamma_{общ}$ – затухание амплитуд температурных колебаний в однородном ограждении; $\sum D$ – характеристика тепловой инерции ограждения; $\sum R$ – термическое сопротивление ограждения; $\beta_{сл} = 0,85 + 0,15 s_2 / s_1$ – множитель,

учитывающий соотношение коэффициентов теплоусвоения материалов двух основных конструктивных слоев ограждения, расположенных по направлению распространения тепловой волны.

При наличии в ограждении воздушной прослойки результат, получаемый по формуле (14), умножается на множитель $\beta_{в.п.}$, значение которого вычисляется по формуле

$$\beta_{в.п.} = 1 + 0,5 R_{в.п.} \frac{\sum D}{\sum R}, \quad (16)$$

где $R_{в.п.}$ – термическое сопротивление воздушной прослойки.

Пользование формулой, основанной на замене многослойной конструкции однородной, которая приближенно эквивалентна ей по теплофизическим свойствам, показывает, что расчеты дают результаты, отличающиеся на 10-12% от точных расчетов с определением коэффициентов теплоусвоения поверхностных слоев в ограждении.

Допустимая амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности определяется по формуле

$$A_i \leq 2,5 - 0,1(t_{ext} - 20), \quad (17)$$

где t_{ext} – среднемесячная температура наружного воздуха за июль месяц. Выполнение всех этих требований в общем случае гармонизируется с главными требованиями проектирования зданий и сооружений, а именно сейсмостойкостью /5/.

Список литературы

1. Свод правил по проектированию и строительству Кыргызской Республики. СП КР 23-101:2009. «Проектирование тепловой защиты зданий».
2. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики. СНиП КР 23-01:2009. «Строительная теплотехника».
3. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики. СНиП КР 23-02-00. «Строительная климатология».
4. Свод правил по проектированию и строительству. СП 23-101-2004. «Проектирование тепловой защиты зданий»
5. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т., Матозимов Б.С., Мамбетов Э.М. Теория и практика сейсμοзащиты сооружений. – Бишкек: Алтын принт 2010. – С. 370.
6. Богословский В. Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1970.
7. Ильинский В. М. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1974.

РАЗРАБОТКА БЛОЧНО-ЯРУСНОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЛИТОСФЕРНОГО БЛОКА СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Северо-Тянь-Шаньский мегаблок имеет мощность земной коры 55-60 км и прослеживается в широтном направлении через всю территорию юга Казахстана. Ширина его колеблется от 50 до 150 км. К современному срезу этого мегаблока приурочены такие крупные геологические структуры, как Богутинский, Шелек-Кеминский, Кастекский, Шамсинский, Пскемский и Верхнечаткальский синклинотории и Заилийский, Кунгейский, Таласский, Кураминский, Чаткальский (Сусамырский) антиклинории, а также многочисленные межгорные впадины, которые здесь широко развиты. В геологическом строении верхней части земной коры участвуют разнообразные горные породы, относящиеся по возрасту к архею-протерозою, протерозою, рифею и палеозою. Судя по геофизическим данным, в земной коре Северо-Тянь-Шаньского мегаблока преобладают породы андезитового и андезито-базальтового состава.

Каройский мегаблок расположен между Чуйским, Центрально-Джунгарским, Северо-Тянь-Шаньским мегаблоками и имеет мощность земной коры не более 40-45 км. Верхняя часть земной коры здесь представлена вулканогенными образованиями позднего карбона и перми. Структура коры в целом и физические свойства пород, слагающих глубинные ее слои, аналогичны таковым в земной коре Балхашского мегаблока. В связи с этим уместно вспомнить о том, что Балхашский мегаблок относится к структурам типа срединного массива. Каройский мегаблок является юго-восточным продолжением Балхашского срединного массива /1/.

В низах коры мегаблока (Шацлов, /2/) обнаружен слой с пониженной скоростью V_p (волновод). Здесь V_p на 0,1 км/с ниже, чем в покрывающих его геологических образованиях. До 0,10 г/см³ понижена и плотность. Градиенты скорости V_p в земной коре Северо-Тянь-Шаньского мегаблока с глубиной изменяются. Структура мегаблока неоднородна. Наиболее уверенно такой поперечный блок (Шелекский) выделен в районе восточного погружения хребтов Заилийский и Кунгей-Алатау. Мощность земной коры этого блока не превышает 45 км. На уровне р.Шелек он разделяет Кетменский и Северо-Тянь-Шаньский мегаблоки и прослеживается от Капчагайского водохранилища на севере до гор Терскей-Алатау на юге /3/.

Переходные зоны. Основными критериями обособления переходных зон как глубинных структурных элементов являются отсутствие или резкое сокращение количества отражающих или преломляющих сейсмических границ (площадок) в земной коре; потеря сейсмической информации, связанной с границей М; резкое погружение границы М в верхнюю мантию; пространственная приуроченность к ним аномалий временных вариаций

геофизических полей. Протяженность переходных зон достигает сотен км при ширине 30-50 км. Сеть переходных зон оконтуривает мегаблоки с различной мощностью земной коры. К наиболее крупным из них относятся Куртинская, Кунзухская, Балхашская, Илийская, Курментинская зоны.

Структура верхней части земной коры /1/. В течение палеозойского этапа геологического развития сформировались такие крупные тектонические элементы земной коры (ЗК), как относительно устойчивые блоки (типа срединных массивов) и подвижные (геосинклинальные) зоны, активность которых, несмотря на различное время консолидации, сохранялась в течение всего палеозоя. Последовавший затем этап эпигерцинской пенепленизации был прерван новейшими тектоническими движениями, в результате которых произошла существенная переработка палеозойского структурного плана. Она выразилась в развитии глубоких прогибов и сопряженных с ними поднятий по направлениям, секущим как палеозойские подвижные зоны, так и относительно устойчивые блоки.

Сопоставление геологических структур и направленности тектонических движений палеозойского и новейшего этапов, а также степени активизации древних разломов показало, что верхняя часть земной коры рассматриваемого района представляется в виде блоковой среды. Границами блоков служат разломы различной глубины проникновения в земную кору. В течение неотектонического этапа блоки испытали движения разного знака и интенсивности. Выделены блоки преобладающих поднятий, преобладающих опусканий и относительно устойчивые. По отношению к структурам палеозойского этапа развития различаются блоки и части блоков, приуроченные к палеозойским подвижным зонам и к палеозойским относительно устойчивым массивам. Выделены также зоны дифференцированных неотектонических движений, окаймляющие поднятие блоки при сочленении их с опущенными. Кроме того, отмечены изгибы и смещения современных крупных морфоструктур, поперечные их простиранию и отражающие, видимо, перестройку некоторых участков морфоструктурного плана в связи с эволюцией земной коры региона на новейшем этапе. Относительные смещения блоков в течение неотектонического этапа происходили по разломам, являющимся зонами их сочленения и наиболее подвижными участками земной коры. Крупные мегаблоковые разломы сосредоточены над переходными зонами. Это не могло не сказаться и на поперечных аномальных элементах в морфоструктуре региона, для которых, как правило, характерна повышенная сейсмичность.

На основе большого обзора сейсмогеологического строения литосферного блока Северного Тянь-Шаня и данных физико-механических свойств ее материалов разработана новая расчетная модель о ее строении.

На рис. 1 показан полученный нами на основе анализа многочисленных геотектонических данных новый детализированный обобщенный ярусный профиль земной коры Северного Тянь-Шаня в разрезе Илийской и Иссыккульской впадин.

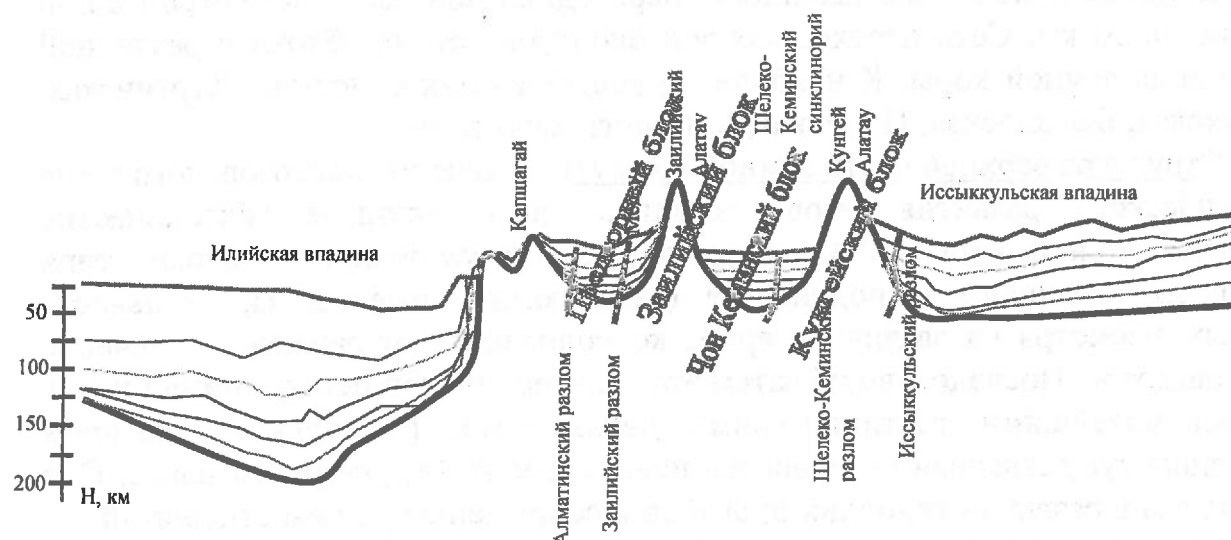


Рис. 1. Иллюстрация, показывающая блочно-ярусного геотектонического строения земной коры Северного Тянь-Шаня в разрезе Илийско-Иссыккульской впадины

Геомеханический инвариант позволяет по наибольшему размеру блоков в плане оценить среднюю ширину зоны раскрытия между блоками. Ширина контактных зон между блоками приблизительно на 2-3 порядка меньше размера блока в плане. Однако почти отсутствуют данные о свойствах материалов тех или иных контактных зон. От этого зависит задание граничных условий для изучения напряженно-деформированного состояния самих блоков.

Картина НДС этих двух разломов и блоков будут исследована детально.

Теперь для этой территории разработана усовершенствованная расчетная схема с учетом более полных геодинамических данных. Ярусная модель литосферы Северного Тянь-Шаня в виде пяти блоков в направлении Капшагай – Кунгей Алатау имеется в работе А.Р.Ждановича /3/. Но рисунок этого автора из-за внесения слишком большого количества названий местности загроможден и сложен для понимания крупных геодинамических данных.

Таблица 1

Средние значения характеристик основных слоев земной коры /4/

№	Слой	$E \cdot 10^{-4} \text{ Мпа}$	$G \cdot 10^{-4} \text{ Мпа}$	ν
1	Осадочный покров	4.0	1.5	0.25
2	Гранитный слой	9.0	3.0	0.21-0.26
3	Базальтовый слой	15.0	4.2	0.22-0.28
4	Верхняя часть подкоровой оболочки	22.0	7.0	0.24-0.27

Северные блоки, начиная с Зайлииского, являются территорией современного города Алматы. На основе систематизации и уточнений данных о физико-механических свойствах литосферного блока по Северному Тянь-Шаню

в крупном плане для этих ярусов установлены следующие средние значения упругих свойств горных пород (табл. 1).

Таким образом, собрана достаточно полная информация о разрывных деформациях и блочной структуре земной коры. При этом последняя имеет иерархический характер. Сами же блоки по вертикали имеют ярусную зональность.

Список литературы

1. Рыбин А.К., Баталов В.Ю., Щелочков Г.Г., Баталева Е.А. На пути построения трехмерной геоэлектрической модели земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня.

2. Ержанов Ж.С., Шацлов В.И. и др. Сейсмическое микрорайонирование территории города Алма-Аты. – Алма-Ата: Наука, 1982. – 111 с.

3. Макаров В.И., Абдрахматов К.Е., Айтматов И.Т. и др. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). – М.: Научный мир 2002. – 400 с.

4. Гзовский М.В. Современные возможности оценки тектонических напряжений в земной коре //Тектонофизика и механические свойства горных пород. – М., 1971. – С.5-37.

УДК 536+539.3+551.2

Р.Б.Баймахан, А.У.Султанбекова,
А.К.Рысбаева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛА ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ЗОН В НЕОДНОРОДНО-ТРАНСТРОПНОМ ВЕСОМОМ МАССИВЕ ВОКРУГ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Из-за малости экспериментальных данных о прочностных и физико-механических свойствах горных пород транструпного строения мы поступили следующим образом. Поскольку имеются некоторые экспериментальные предельные данные для горных пород транструпного строения, то применительно к нашей задаче для нахождения пластических зон, распространяющихся в направлениях вдоль (параллельно) и вкост (перпендикулярно) слоев плоскости изотропии, мы можем определить неизвестные параметры c_1 , c_{II} , φ_1 , φ_{II} , используя круги Мора по [1], распространив для такого массива (рис. 1 а, б).

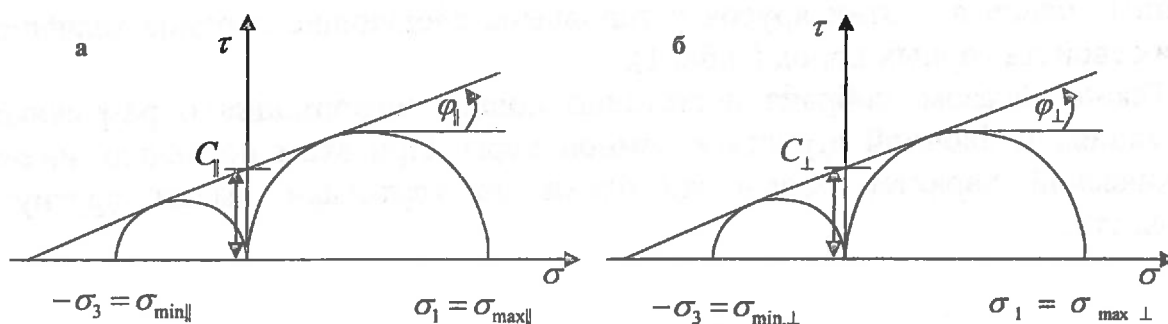


Рис. 1. Круги Мора для нахождения параметров пластичности:
а – вдоль, б – вкрест слоев плоскости изотропии

Теперь мы можем записать и обобщить условие пластичности Кулона-Мора для транстропного массива в следующем виде:

$$\tau_{\perp C} = \sigma_{\perp C} \operatorname{tg} \varphi_{\perp} + C_{\perp}, \quad (1)$$

$$\tau_{\parallel C} = \sigma_{\parallel C} \operatorname{tg} \varphi_{\parallel} + C_{\parallel}. \quad (2)$$

Порядок расчета: по МКЭ находим

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}; \quad (3)$$

если $\tau_{\max} \geq \tau_{\perp C}$, то пластические зоны развивается перпендикулярно слоям (вкрест слоев);

если $\tau_{\max} \geq \tau_{\parallel C}$, то пластические зоны развивается параллельно слоям (вдоль слоев).

Группа известных ученых Института горного дела Сибирского отделения РАН в результате исследования установила новое явление разрушения пород. Авторами этого открытия №400 являются Е.И. Шемякин, В.Н. Опарин, М.В. Курленя, Ю.С. Кузнецов, Г.Л. Фисенко, В.Н. Рева, Ф.П. Глушихин, М.А. Розенбаум, Э.П. Тропп [2]. В некоторых работах, опубликованных в последнее десятилетие, замечено появление вокруг выработок областей повышенных и пониженных напряжений (сжимающих и растягивающих), а также зафиксировано возникновение в массиве вокруг выработок трещин.

Большую глубину разработки следует принимать как критическую глубину, при которой начинают возникать динамические явления вокруг одиночных выработок, а также проявляться пластическое деформирование пород вследствие концентрации напряжений и перемещений поверхности выработки. Таким образом, можно сказать, что основным признаком проявления горного давления на глубоких горизонтах является переход горных пород вокруг выработки в некоторое критическое, так называемое, предельное напряженное состояние.

Экспериментальные исследования, выполненные в 80-е годы, показывают, что на глубоких горизонтах в предельное состояние переходят большие области в окрестности выработок и что глубина разработки начинает непосредственно влиять как на размеры этих областей, так и на состояние пород в них. В

результате этого при проведении выработок на глубоких горизонтах в условиях большой напряженности породного массива, находящегося на контуре выработки в предельном состоянии, происходят образования вокруг выработки: кольцеобразные чередующиеся зоны ненарушенных I–III и сильно нарушенных, раздробленных IV пород (рис. 2). Они обуславливаются раскалыванием горной породы по направлению наибольших по величине главных напряжений в области пика опорного давления, раскрытием возникающих трещин и разрушением породы в этой области /2/.

Обнаружение явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг выработок на большой глубине явилось прямым экспериментальным доказательством перехода пород в предельное состояние в глубине массива при образовании в нем трещин.

В соответствии с разработанными в работе /3/ алгоритмами метода конечных элементов в следующих рисунках показаны области пластических зон, определенные путем предельного перехода по обобщенному критерию Кулона-Мора (1)-(2), для транструпного массива, возникающие в угольном пласте вокруг контура выработки.

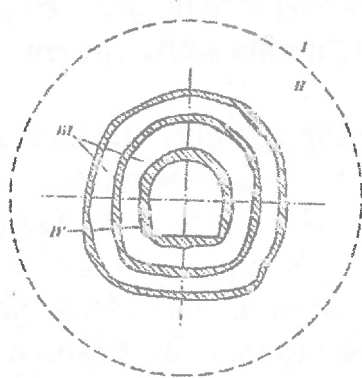


Рис. 2. Схема образования вокруг выработки областей с различным состоянием пород /1/

Анализ закономерностей предельных состояний в угольном пласте вокруг незакрепленной (рис. 3, а, б, в) и закрепленной (рис. 3, г) выработок для различных глубин заложения позволяет констатировать следующее: когда угольный пласт занимает ограниченное пространство размером 6х6 м при глубине заложения 500 м (рис. 3, а), предельные зоны появляются вдали от контура преимущественно в боковых областях от сжимающих напряжений. Незначительные предельные зоны на кровле и в почве выработки появляются от растягивающих напряжений. С увеличением глубины заложения при 700 м (рис. 3, б) и 1000 м (рис. 3, в) наблюдается увеличение количества и размеров зон предельных состояний массива вокруг выработки. На глубине 1000 м по сравнению с предыдущими глубинами заложения выработки заметно увеличиваются области, в некоторых местах происходит слияние предельных областей. С глубиной происходят приближение и сгущение предельных зон вблизи контура незакрепленной выработки.

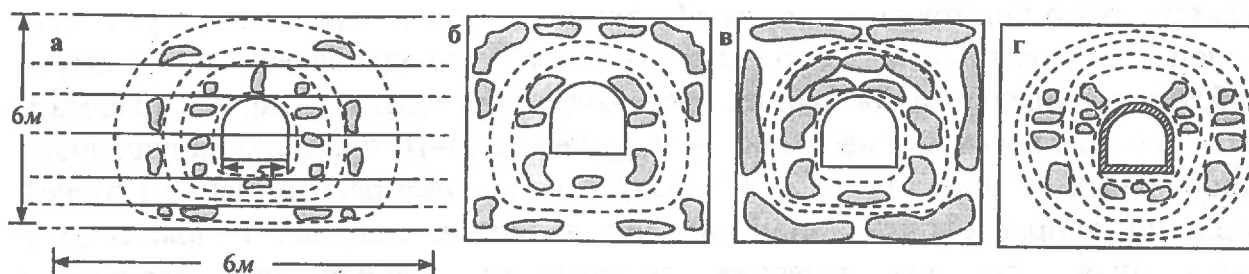


Рис. 3. Зоны перехода в предельное состояние массива на контуре незакрепленной выработки. Глубины заложения: а – 500 м; б – 700 м; в – 1000 м в угольном пласте размером 6х6 м:
г) предельные зоны вокруг закрепленной выработки на глубине заложения 500 м

В случае закрепления контура выработки бетонной крепью (рис. 3, г) на глубине 500 м по сравнению с незакрепленным контуром (рис. 3, а) количество зон предельных состояний уменьшается, но заметно сильное приближение к контуру выработки. При этом в областях кровли предельные зоны отсутствуют, а в угловых областях видны наибольшие по размеру предельные зоны.

Во всех рассмотренных вариантах зоны предельного перехода не достигают границы контура выработки.

Закономерности образования предельных состояний
вблизи выработки от тектонических сил /2/

Сравнивая закономерности образования предельных зон в угольном пласте вокруг выработки при геостатической нагрузке, замечаем, что горизонтально направленные тектонические силы в значительной степени сказываются на форме, характере и размерах зон (рис. 4, а). Во-первых, размеры зон состояний предельного перехода увеличиваются с удалением от приконтурной области. Во-вторых, количество одинаково увеличивается во всех радиальных направлениях угольного пласта.

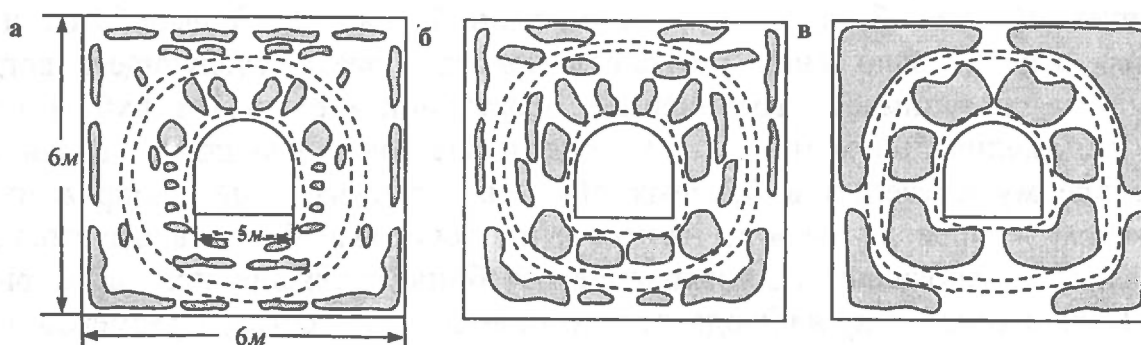


Рис. 4. Образование зон предельного перехода вокруг незакрепленной выработки. Глубины заложения: а – 500 м; б – 700 м; в – 1000 м в угольном пласте размером 6х6 м

На глубине 700 м (рис. 4, б) по сравнению с предыдущими глубинами размеры предельных зон расширяются и становятся намного больше, нежели при геостатической нагрузке (рис. 3, б). Наблюдается слияние и значительное увеличение размеров предельных зон вокруг выработки и во всей области угольного пласта (рис. 5, в) по сравнению с предыдущими глубинами (рис. 4, а и 4, б), а также при геостатической нагрузке (рис. 3, в).

Концентрация напряжений и образование зон состояний предельного перехода массива вокруг выработок образуются с течением времени, которое исчисляются неделями, месяцами и годами. Поэтому, если сразу закрепить контур крепью, то характер закономерности появления предельных зон вокруг выработки будет отличаться от характера незакрепленного контура выработки.

В монографии А.Н. Зорина, Ю.М. Халимендика и В.Г. Колесникова [2] говорится о том, что на глубоких горизонтах в предельное состояние переходят большие области в окрестности выработок и что глубина разработки начинает непосредственно влиять как на размеры этих областей, так и на состояние пород в них. В результате этого при проведении выработок на глубоких горизонтах в условиях большой напряженности породного массива, находящегося на контуре выработки в предельном состоянии, происходит образование вокруг выработки кольцеобразных чередующихся зон ненарушенных и сильно нарушенных, раздробленных пород.

По результатам заметно, что происходит зональная дезинтеграция по Е.И. Шемякину, пунктирными линиями на всех вышеуказанных рисунках с учетом геостатических и тектонических воздействий показано чередование нарушенных и ненарушенных зон. Таким образом, во всех рассмотренных вариантах основным признаком является появление вокруг выработки зон ненарушенных и сильно нарушенных пород в угольном пласте. Анализ полученных результатов подтверждает достоверность исследования.

Список литературы

1. Турчанинов И.А., Иофис М.В., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л: Недра, 1977. – 503 с.
2. Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. – М.: Недра, 2001. – 413 с.
3. Баймахан Р.Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов / Под ред. Ш.М. Айталиева. – Алматы: Даур, 2002. – 231 с.

ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ВБЛИЗИ КОНТУРА ВЫРАБОТКИ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИЕСЯ ВДОЛЬ И ВКРЕСТ СЛОЕВ ПЛОСКОСТИ ИЗОТРОПИИ

Задача решена методом конечных элементов с применением изопараметрических элементов. Уравнения статического равновесия имеют вид /1/

$$[K] \cdot \{U\} = \{P\}, \quad (1)$$

где $[K]$ – матрица жесткости системы; $\{U\}$ – вектор перемещений; $\{P\}$ – вектор нагрузок от собственного веса.

Вектора деформации и напряжений вычисляются в точках интегрирования $\xi_{i,j}, \eta_{i,j} (i, j = 1, 2, \dots, 9)$ с помощью выражений:

$$\{\varepsilon_k\}_{i,j} = [B_{k,m}]_{i,j} \{U_m\}, (k = 1, 2, 3, m = 1, 2, \dots, 16, i = j = 1, 2, \dots, 9) \quad (2)$$

$$\{\sigma_k\}_{i,j} = [D_{k,n}] \{\varepsilon_k\}, (n = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3) \quad (3)$$

где $\{\varepsilon_k\}_{i,j} = \{\varepsilon_{k,x}, \varepsilon_{k,z}, \lambda_{k,xz}\}_{i,j}$, $\{\sigma_k\}_{i,j} = \{\sigma_{k,x}, \sigma_{k,z}, \tau_{k,xz}\}_{i,j}$ – деформации и напряжения;

$[B_k]_{i,j}, [D_{k,n}]$ – матрицы базисных функции и упругих характеристик элементов и

$$\{U_m\} = \begin{bmatrix} u_\ell & 0 \\ 0 & g_\ell \end{bmatrix}, (\ell = 1, 2, \dots, 8) \text{ – перемещения узловых точек изопараметрического}$$

элемента.

Величины главных напряжений и главных площадок вычислены с помощью следующих известных выражений теории упругости:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{zx}^2}, \\ \sigma_{\min} &= \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{zx}^2}, \\ \operatorname{tg} 2\alpha &= -\frac{2\tau_{zx}}{\sigma_z - \sigma_x}, \\ \tau_{\max} &= (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2, \end{aligned} \quad (4)$$

где α показывает направление главных площадок относительно декартовой системы координат (рис. 1).

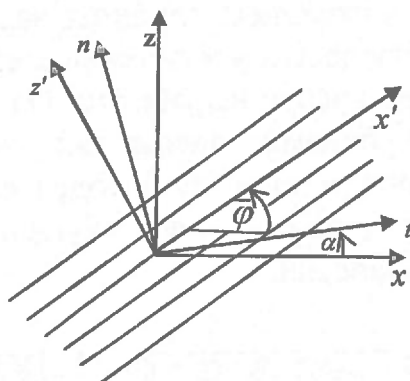


Рис. 1. $\bar{\varphi}$ – угол наклона плоскости изотропии и α – направления главных площадок

Для произвольного угла α , определяющего площадку скольжения, прочности горных пород для транстропного массива определяем по критерию Казагранде-Каррилло в виде

$$\tau_{\alpha} = \tau_{\max, \perp} + (\tau_{\max, \parallel} - \tau_{\max, \perp}) \cos^2 \alpha, \quad (5)$$

где $\tau_{\max, \parallel}, \tau_{\max, \perp}$ – экспериментально определяемые критические значения горных пород слоистого строения для случаев $\alpha = 0$ и $\alpha = 90^\circ$. Сравнивая вычисленные величины максимальных касательных напряжений $\tau_{\max}$ по (1) с их критическими величинами по (5), определяем зоны разрушения горных пород.

Если $\tau_{\max} < \tau_{\alpha}$, то состояние горного массива устойчивое.

Если $\tau_{\max} > \tau_{\alpha}$, то происходит разрушение массива.

Нормальные компоненты напряжений на главных площадках определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha \\ \sigma_t &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha - \tau_{xy} \sin 2\alpha \\ \tau_{nt} &= -\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha \end{aligned} \quad (6)$$

Некоторые результаты исследования, выполненные с помощью этих алгоритмов по определению области пластических зон, возникающих в угольном пласте вокруг контура выработки, показаны на рис. 2, 3 и 4.

Анализ закономерностей предельных состояний в угольном пласте вокруг незакрепленной (рис. 2) и закрепленной (рис. 3) выработок для различных глубин заложения позволяет констатировать следующее: когда угольный пласт занимает ограниченное пространство размером $b \times b$ м при глубине заложения 500 м (рис. 2, а), предельные зоны появляются вдали от контура преимущественно в боковых областях от сжимающих напряжений.

Незначительные предельные зоны на кровле и почве выработки появляются от растягивающих напряжений. С увеличением глубины заложения при 700 м (рис. 2, б) и 1000 м (рис. 2, в) наблюдается увеличение количества и размеров зон предельных состояний массива вокруг выработки. На глубине 1000 м по сравнению с предыдущими глубинами заложения выработки заметно увеличиваются области, в некоторых местах происходит слияние предельных областей. С глубиной происходит приближение и сгущение предельных зон вблизи контура незакрепленной выработки.

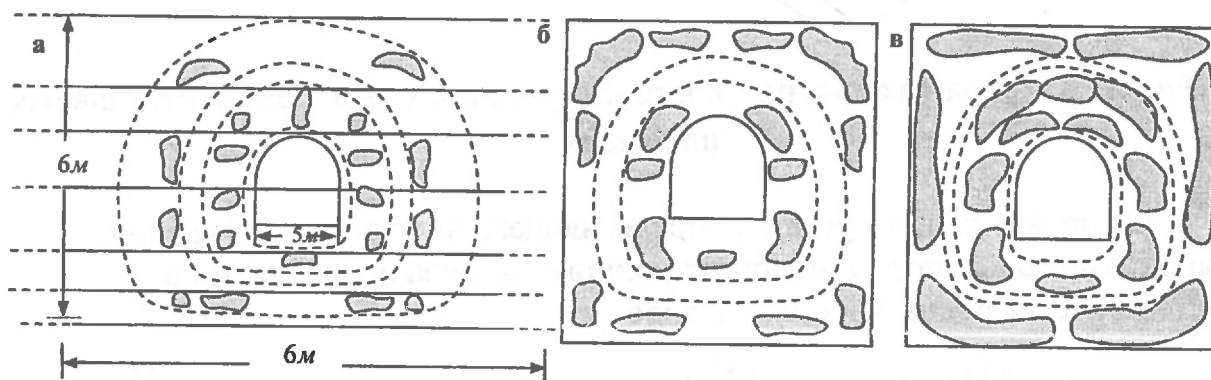


Рис. 2. Зоны перехода в предельное состояние массива на контуре незакрепленной выработки на глубине заложения: а – 500 м; б – 700 м; в – 1000 м в угольном пласте размером 6х6 м

В случае закрепления контура выработки бетонной крепью (рис. 3) на глубине 500 м по сравнению с незакрепленным контуром (рис. 3, а) количество зон предельных состояний уменьшается, но заметно сильное приближение к контуру выработки. При этом в областях кровли предельные зоны отсутствуют, а в угловых областях видны наибольшие по размеру предельные зоны.

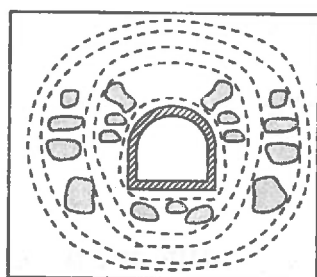


Рис. 3. Предельные зоны вокруг закрепленной выработки на глубине заложения 500 м в угольном пласте размером 6х6 м

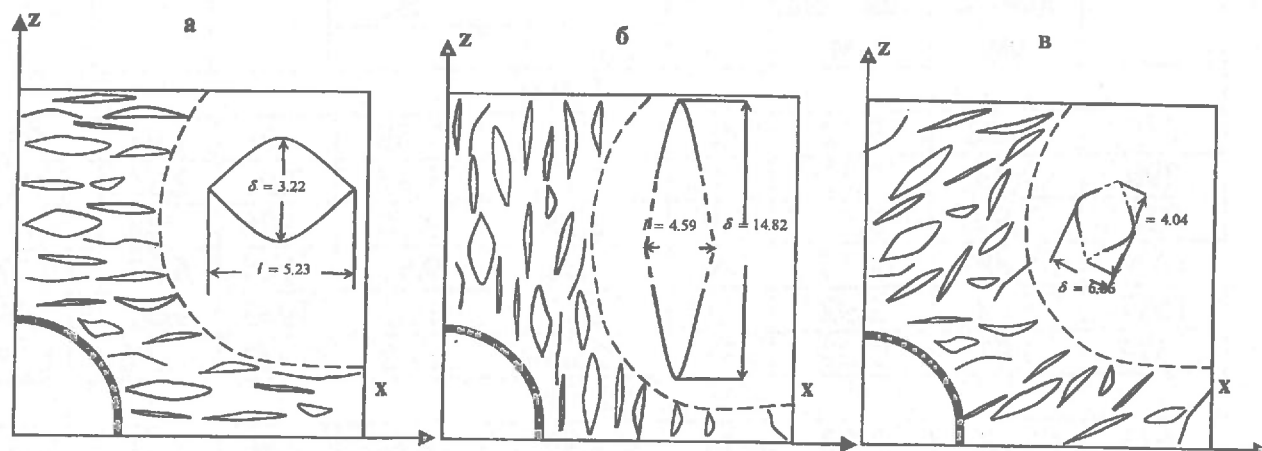


Рис. 4. Фрагменты из картины трещинообразования в угольном пласте размером 6х6 м вокруг подземной выработки на глубине 1000 м, показывающие направление распространения трещин: а – параллельно слоям, б – перпендикулярно слоям, в – под углом $\varphi' = 45^\circ$

Во всех рассмотренных вариантах зоны предельного перехода не достигают границы контура выработки.

Представить картину длины, ширины при двустороннем и раскрытия при одностороннем распространениях трещины технически сложно. Поэтому на рис. 4 показаны фрагменты длины и ширины распространения трещин.

Из-за невозможности показа картины значений длины и ширины раскрытия всех образовавшихся трещин в направлениях вдоль и вкrest слоев плоскости изотропии транстропного массива вокруг контура подземного сооружения их числовые значения приведены в табл. 1.

Анализ данных таблицы показывает, что, во-первых, характерные размеры трещин увеличиваются с увеличением глубины заложения, во-вторых, также увеличиваются при тектонической нагрузке по сравнению с геостатической. На глубине 500 м трещины под углом $\varphi' = 45^\circ$ отсутствуют как при геостатической, так и при тектонической нагрузке.

Таблица 1

Значения длины и ширины трещин, распространяющихся вдоль и вкrest слоев плоскости изотропии угольного пласта размером 6х6 м вокруг контура незакрепленной выработки при тектонической нагрузке [2/

№ элементов	Трещина II слоям		№ элементов	Трещина ⊥ слоям		№ элементов в	Трещина под углом $\varphi' = 45^0$	
Параметры трещины								
	горизонтальная,	горизонтальная,		вертикальная, ширина, см	вертикальная, длина,		длина, см	ширина, см

	длина, см	ширина, см			см			
500 м								
236	10,08	9,02	1484	1,74	7,58	196	1,01	3,23
290	9,35	7,12	312	2,11	8,87	224	2,34	5,97
311	7,89	5,89	344	2,25	9,30	1876	3,88	9,97
1496	6,80	4,15	362	2,36	9,91	1945	6,32	10,77
1537	5,52	2,92	1513	2,52	10,5	1963	9,54	12,86
1372	4,03	1,83	1322	2,88	11,2	1972	10,78	13,55
1000 м								
1533	5,23	3,22	99	4,99	14,82	994	2,04	6,86
1424	7,61	4,90	297	3,38	20,53	1370	3,89	16,03
967	8,77	6,37	230	3,75	21,81	1008	5,89	17,21
216	9,64	7,97	145	4,39	22,34	1022	8,76	19,81
178	11,41	10,91	132	4,76	23,41	1036	14,03	21,53
166	12,14	11,04	108	4,54	24,51	1050	23,02	22,45

Установлены закономерности образования и распределения пластических зон и зон раздробления транструпного массива в поле тектонических сил вокруг контура горной выработки. Определены значения степени раскрытия и длины трещин, образовавшихся в процессе раздробления транструпного массива и распространяющихся вдоль и вкрест плоскости изотропии.

Список литературы

1. Баймахан Р.Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов. / Под ред. Ш.М. Айталиева. – Алматы: Даур, 2002. – 231 с.
2. Турчанинов И.А., Иофис М.В., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1977. – 503 с.

УДК 539.421.2

А.У.Султанбекова, Р.Б.Баймахан,
М.М.Муздакбаев, А.А.Сейнасинова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДРОБЛЕНИЯ МАССИВА ВБЛИЗИ КОНТУРА ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ В ТРАНСТРУПНОМ МАССИВЕ

Известно, что хрупкий или пластический тип разрушения породы однородно изотропного строения определяется соотношением максимальных значений компонент касательных и нормальных компонент напряжений в виде /1/:

$$m = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}} \quad (1)$$

или

$$m = \frac{0.5(\sigma_1 - \sigma_3)}{\sigma_1 - \nu(\sigma_2 - \sigma_3)}. \quad (2)$$

Если $m < \frac{\tau_{сдв}}{\sigma_p}$, то происходит хрупкое разрушение.

Если $m > \frac{\tau_{сдв}}{\sigma_p}$, то происходит пластическое разрушение.

При длине трещины 2ℓ и радиусе на конце r внутренние напряжения σ' будут равны

$$\sigma' = 2\bar{\sigma} \sqrt{\frac{\ell}{r}}. \quad (3)$$

Поскольку имеются некоторые экспериментальные предельные данные для горных пород транстропного строения, то применительно к нашей задаче для нахождения пластических зон и зон трещинообразования вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии мы можем определить неизвестные параметры $c_{\perp}$, $c_{\parallel}$, $\varphi_{\perp}$, $\varphi_{\parallel}$, используя круги Мора (рис. 1).

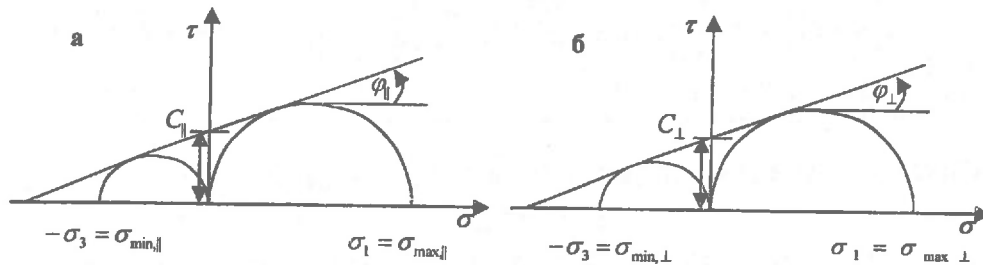


Рис. 1. Круги Мора для нахождения параметров разрушения:
а – вдоль, б – вкрест слоев плоскости изотропии

С помощью данных, полученных из рис. 1, теперь мы можем записать обобщенное условие пластичности и разрушения Кулона-Мора для плоскости изотропии и для направления вкрест к ним транстропного массива в следующем виде:

$$\tau_{\perp,c} = \sigma_{\perp,c} \operatorname{tg} \varphi_{\perp} + c_{\perp}; \quad (4)$$

$$\tau_{\parallel,c} = \sigma_{\parallel,c} \operatorname{tg} \varphi_{\parallel} + c_{\parallel}. \quad (5)$$

Порядок расчета:
по МКЭ /2/, /3/ находим

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}; \quad (6)$$

если $\tau_{\max} \geq \tau_{\perp,c}$, то разрушение развивается перпендикулярно слоям (вкрест слоев);

если $\tau_{\max} \geq \tau_{\parallel,c}$, то разрушение развивается параллельно слоям (вдоль слоев).

Приведем теперь некоторые результаты расчета, полученные методом конечных элементов с помощью изложенного алгоритма.

В следующих рис. 2, а, б, в показаны закономерности разрушения массива вокруг контура выработки, когда угольный пласт занимает пространство размером 20х200 м в горизонтально слоистом массиве. Зоны раздробления в направлении вкрест слоев появляются в глубине массива над висячими областями контура выработки. Такие же раздробления возникают далеко за почвенной областью только в двух расчетных элементах в угольном пласте с направлением распространения трещины вкрест к плоскости изотропии слоев. Раздробление массива угольного пласта параллельно слоям происходит во всей области вокруг контура выработки с направлением распространения вдоль слоев плоскости изотропии, но на некотором расстоянии от него (рис. 2, б).

Закономерности раздробления пород под углом $\phi' = 45^\circ$ похожи на картину разрушения в направлении вкрест к слоям (рис. 5, в), показанную на рис. 2, а. Типы разрушения, соответствующие этим картинкам, показаны на рис. 3. Ближе к контуру в боковых областях тип разрушения является вязким, значительная область за ним разрушается хрупко.

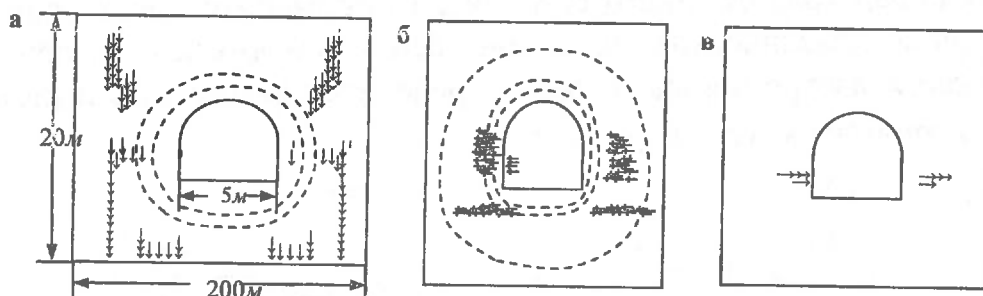


Рис. 2. Механизм трещинообразования вокруг контура незакрепленной выработки

на глубине 500 м в угольном пласте высотой 20 м и шириной 200 м: а – перпендикулярно слоям; б – параллельно слоям; в – под углом $\phi' = 45^\circ$

Над висячими областями свода выработки преимущественно тип разрушения является вязким. Под почвенной областью раздробление массива происходит вязко и хрупко.

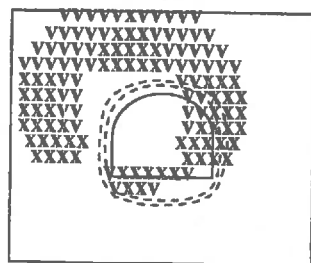


Рис. 3. Тип разрушения вокруг контура незакрепленной выработки на глубине 500 м

в угольном пласте высотой 20 м и шириной 200 м: X – хрупкое разрушение, V – вязкое разрушение

На рис. 4, а, б, в показаны закономерности трещинообразования в

угольном пласте размером 20x20 м. В отличие от геостатической нагрузки здесь из-за дополнительной горизонтальной составляющей тектонических полей сжатия в угольном пласте по всей высоте появляются раздробленные зоны с направлениями распространения трещины вкрест (перпендикулярно) к плоскости изотропии (рис. 4, а). Незначительные по объему раздробления в пласте параллельно слоям возникают преимущественно в боковых областях контура выработки с направлением распространения вдоль слоев плоскости изотропии. Еще меньшие по объему трещины появляются ниже пола (рис. 4, б). Совсем незначительные по количеству зон раздробления образуются в нижних боковых областях под углом $\varphi' = 45^\circ$ (рис. 4, в).

Если судить о типах разрушений, то данные рисунка показывают, что в боковых и в висячих областях контура и ближе к выработке преобладает вязкий тип, а с удалением от него – хрупкий тип разрушения (рис. 5).

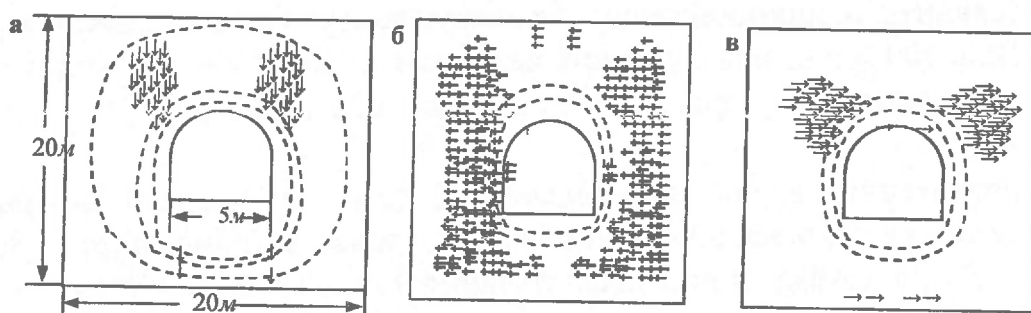


Рис. 4. Механизм трещинообразования вокруг контура незакрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20x20 м:

а – перпендикулярно слоям; б – параллельно слоям; в – под углом $\varphi' = 45^\circ$

Во всех рассмотренных вариантах исследований ни в одном случае на этих глубинах заложения выработки раздробление массива не доходит непосредственно до контура выработки.

Как и в варианте с геостатической нагрузкой, рассмотрим теперь влияние закрепления контура угольного пласта бетонной крепью на механизмы места и типов разрушений. Эти результаты показаны на рис. 6, а, б, 7.

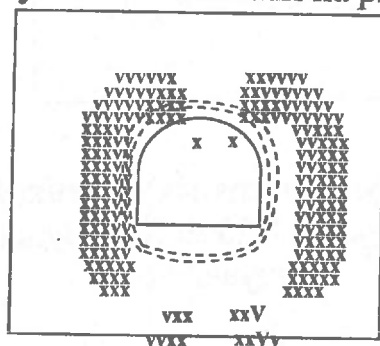


Рис. 5. Тип разрушения вокруг контура незакрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20x20 м: X – хрупкое разрушение, V – вязкое разрушение

Трещинообразование перпендикулярно слоям, как и в варианте с геостатической нагрузкой, происходит в направлениях вкрест к плоскостям слоев изотропии, но намного дальше от внешнего контура крепи и имеет явно разряженный характер (рис. 6).

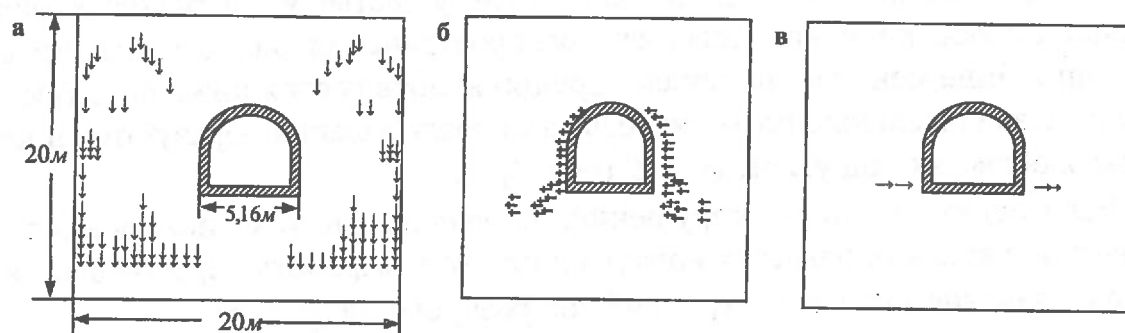


Рис. 6. Механизм трещинообразования вокруг контура закрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20х20 м: а – перпендикулярно слоям; б – параллельно слоям; в – под углом $\varphi' = 45^\circ$

В направлении параллельно слоям зоны разрушения достигают внешнего контура крепи на боковых областях с меньшим количеством зон (рис. 6, б).

На рис. 6, в показаны процессы трещинообразования под углом $\varphi' = 45^\circ$. В этом случае заметим, что незначительное трещинообразование характерно в областях лежащих боков.

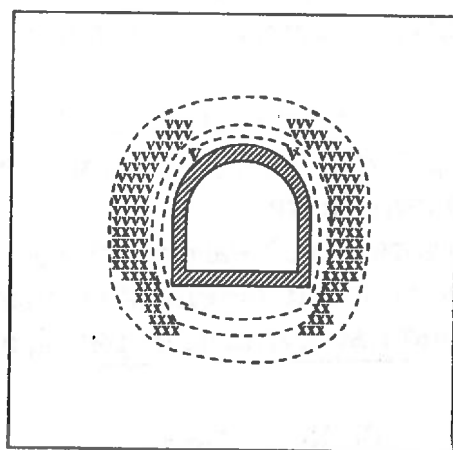


Рис. 7. Тип разрушения вокруг контура закрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20х20 м: X – хрупкое разрушение, V – вязкое разрушение

Анализ типов разрушений показывает, что в случае закрепления контура крепью преобладает вязкий тип разрушения массива (рис. 7).

Список литературы

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
2. Бате К., Вильсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.
3. Баймахан Р.Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов / Под ред. Ш.М.Айтиалиева. – Алматы: Даур, 2002. – 232 с.

УДК 69.01-624.012

М.Д.Кутуев, Б.С.Матозимов, Т.К.Муктаров,
Э.М.Мамбетов, Э.Муканбет кызы, А.М.Мисирова

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ПРИЕМЫ В ОБЪЕМНОМ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ, КОНСТРУКТИВНЫЕ И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗДАНИЯМ С УЧЕТОМ КЛИМАТА МЕСТНОСТИ

На основе итоговой оценки климата местности по комплексу метеорологических факторов осуществляются общие выводы, связывающие специфику климатических особенностей архитектурно-планировочными приемами в объемном и градостроительном проектировании, конструктивными и инженерно-техническими требованиями к зданиям и сооружениям /1-7/. Продумываются все средства, способные обеспечить в зданиях и на территории городской застройки благоприятные микроклиматические условия или хотя бы смягчающие влияние неблагоприятных факторов микроклимата на человека. Эти средства можно подразделить на три группы: архитектурно-планировочные, конструктивные и инженерно-технические.

I. Использование архитектурно-планировочных средств

В связи с географической широтой и характером местного климата, оценка которого произведена в предыдущих частях исследовательской работы, осуществляется выбор типа планировки жилого дома, обеспечивающий активизацию или ограничение проветривания. Выбор ориентации фасада жилого здания связан с типом секции и должен обеспечивать норматив инсоляции в квартире и отсутствие ветроохлаждения и перегрева помещений. При решении проекта генплана города важно предусмотреть защиту жилых районов от задымления со стороны промышленных предприятий, что достигается правильным расположением промзоны по отношению к жилому району. Промзона должна располагаться в направлении с наименьшей повторяемостью ветра.

Направление основных магистралей и улиц рекомендуется выбирать в

соответствии с «розой ветров» с тем, чтобы обеспечить должную аэрацию городского района или защиту от неблагоприятных сильных ветров.

Размещение озелененных территорий в проекте генплана города, проекта детальной планировки жилого района и проекта застройки жилого микрорайона осуществляется с учетом характера климата территории. Озеленение смягчает действие ветра и солнца, повышает влажность сухого воздуха.

Рекомендуемые архитектурно-планировочные средства должны отобразиться в исследовательской работе в виде структурно-планировочных схем: жилой секции, жилого района.

II. Конструктивные средства

В соответствии с преобладающим типом погоды и климатом местности выбирается тип ограждающих конструкций (стен, кровли, окон и т.д.), обладающих определенными теплозащитными свойствами (сопротивлением теплопередаче, воздухопроницаемостью) и обеспечивающих теплоизоляцию и теплоустойчивость помещений, нормируется внутреннее пространство квартиры (высота помещения, площадь входного узла, летних помещений), осуществляется выбор характера кровли, типа солнцезащитных устройств и необходимость их применения.

III. Инженерно-технические средства

В связи с преобладающим типом погоды местности следует указать, какое необходимо отопление (активное, регулярное и т.д.), характер вентиляции (приточно-вытяжная или естественная), целесообразность применения искусственных методов регулирования микроклимата в помещении (кондиционирование, радиационное охлаждение) и т.д.

Применение архитектурно-технических средств в зависимости от типа погоды и режима эксплуатации зданий приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Архитектурно-планировочные, конструктивные и инженерно-технические средства регулирования микроклимата в зданиях и городской среде

Режим эксплуатации и тип погоды	Средства регулирования микроклимата		
	архитектурно-планировочные	конструктивные	инженерно-технические
1	2	3	4
Открытый. Комфортная	Открытие помещения (лоджии, веранды). Бытовые процессы на воздухе	Трансформация ограждений	Не используется
Полуоткрытый. Прохладная	Применение оптимальной ориентации зданий с учетом инсоляции и ветра	Одинарное остекление, трансформация ограждений	Отопление малой мощности, нерегулярное. Вентиляция естественная,

			вытяжная через форточки
Закрытый. Холодная	Компактность застройки. Сокращение периметра наружных стен зданий за счет простой конфигурации плана. Применение тамбуров для лестничных клеток. Применение оптимальной ориентации зданий с учетом инсоляции, ветра	Ограждения необходимых теплозащитных качеств и воздухопроницаемости, двойное остекление	Центральное отопление средней мощности. Вентиляция естественная
Изолированный. Суровая	Максимальная компактность в планировочных решениях с приемами ветро- и снегозащиты: ветрозащитные барьеры из зданий повышенной этажности. Расположение детских учреждений в зоне оптимальной ветрозащиты. Применение зданий аэродинамической формы (обтекаемой для ветровых потоков). Применение секций с односторонними квартирами. Предпочтительна меридиональная ориентация зданий. Применение теплых крытых переходов между зданиями, домов-комплексов, утепленных остановок общественного транспорта. Применение теплых лестниц с двойными тамбурами, вентилируемых шкафов для верхней одежды, увеличение входного узла (площади прихожей и количества встроенных шкафов)	Увеличение высоты этажа, увеличение ширины корпуса, увеличение высоты цоколя здания. Применение обогреваемых полов первых этажей. Применение герметичного тройного остекления. Высокая воздухопроницаемость и теплозащитные качества ограждений. Фундаменты с учетом вечной мерзлоты. Исключение применения штучных кровельных материалов	Центральное отопление большой мощности. Механическая приточно-вытяжная вентиляция с подогревом и увлажнением воздуха.

Полуоткрытый. Теплая	Планировка жилых секций с учетом сквозного и углового проветривания квартир. Применение солнцезащиты, открытых летних помещений (лоджий, веранды). Лестницы полуоткрытые, без тамбуров. Затенение и аэрация территорий, использование ночных прохладных ветров. Обильное озеленение	Трансформация ограждений	Механические вентиляторы
Закрытый. Жаркая, сухая	Компактные решения для уменьшения теплопоступлений. Солнцезащита. Затенение и обводнение территории, аэрация. Применение секций со сквозным и угловым проветриванием. Применение открытых летних помещений	Увеличение высоты этажа. Применение плоских и сводчатых кровель, вентилируемых, водоналивных, экранируемых. Уменьшение светопроемов	Искусственное охлаждение воздуха без снижения влагосодержания. Механические вентиляторы
Изолированный. Жаркая с нормальной и повышенной влажностью	Компактные решения для уменьшения теплопоступлений. Солнцезащита, максимальная аэрация территории, затенение территории (в том числе пешеходных путей). Применение летних открытых помещений	Увеличение высоты этажа. Применение открытых и полужакрытых лестничных клеток (без тамбуров, с ограждающими конструкциями из дырчатых панелей). Применение ограждающих конструкций с влагонепроницаемой отделкой. Применение зданий на опорах	Кондиционирование. Вытяжная вентиляция

На рис. 1 представлены типы жилых секций, на рис. 2 показана схема застройки городского района. При выборе ориентации зданий и составлении схемы учитывалось комплексное действие климатических факторов, которое определялось в предыдущих частях работы. Преимущества имеют жилые здания с широтными секциями, ориентированными на юг и юго-восток. Жилые здания с меридиональными секциями имеют ограниченную градостроительную маневренность с ориентацией одного из фасадов на юго-восток. При планировочных решениях предусмотрена защита от холодного северо-восточного ветра, жилые дома по возможности поставлены торцами к этому ветру, с СВ предусмотрено озеленение и ветрозащитные здания особой планировки, в ветровой тени которых расположены детские учреждения. Расположение промышленной зоны относительно жилой показано стрелкой (выбор расположения обоснован на основе анализа ветрового режима).

Предусматривается озеленение жилого района для улучшения микроклиматического комфорта, а также для защиты от шума.

Другие архитектурные, а также конструктивные и инженерно-технические требования отражены в табл. 2.

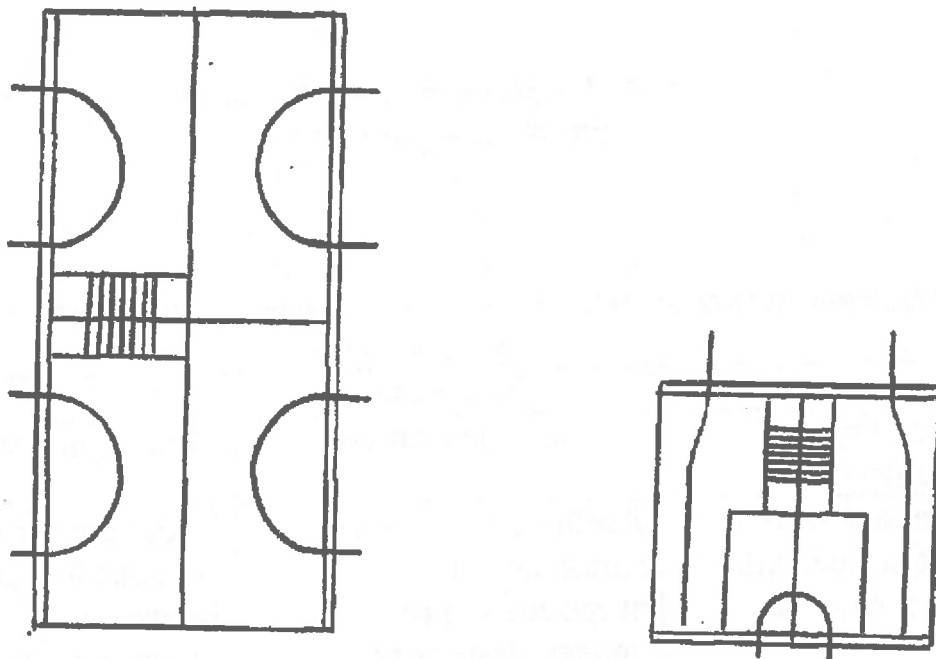


Рис.1 Типы жилых секций

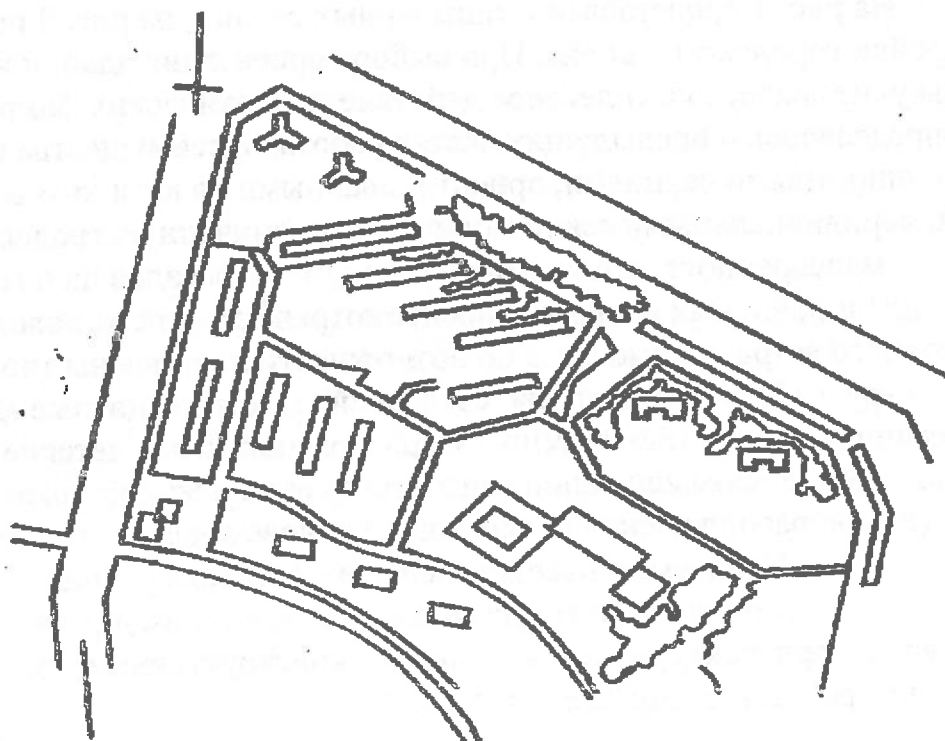


Рис. 2 Схема генплана проекта
застройки жилого района

Таблица 2

Архитектурно-планировочные, конструктивные и инженерно-технические
требования

Требования		
архитектурно-планировочные	конструктивные	инженерно-технические
Применение летних открытых помещений (лоджий, балконов, веранд), солнцезащитных устройств на юго-западных и западных фасадах	Двойное остекление. Применение ветрозащиты от неблагоприятных северо-восточных ветров. Ограждение необходимых теплотехнических качеств.	Постоянное отопление в холодный период года. Вентиляция естественная.

Приведенная работа не характеризует объем оценки климатических условий и количество рекомендаций, они определяются индивидуальными условиями в каждом географическом пункте /8-10/.

Список литературы

1. Лицкевич В.К. Учет климатических условий при проектировании жилых зданий в различных районах СССР. – М.: Стройиздат, 1975. – 94 с.
2. Гусев Н.М. Основы строительной физики. – М.: Стройиздат, 1975. – 440 с.
3. Заварина М.В. Строительная климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 121 с.
4. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1982. – 135 с.
5. СНиП 2.08-01-85. Жилые здания. – М. Стройиздат, 1985. – 65 с.
6. ЦНИИЭП жилища. Рекомендации по методике строительно-климатической паспортизации городов для жилищного строительства. – М., 1981. – 40 с.
7. СНиП П-60-85*. Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1985. – 54 с.
8. Кутуев М. Д., Матозимов Б.С, Асаналиева Ж.Д. Исследование теплофизических свойств различных ограждающих конструкций в условиях республики Кыргызстана. – Б.: Вестник КГУСТА, выпуск 4 (30) 2010. – С. 20-24.
9. Кутуев М. Д., Матозимов Б.С, Муқанбет к. Э., Муктаров Т.К., Мамбетов Э.М., Мисирова А.М., Жангазиева Г.А. Исследования основных параметров микроклимата помещений //Известия вузов. – №1, 2012. – Бишкек. – С.12-15.
10. Кутуев М. Д., Матозимов Б.С, Муқанбет к. Э., Муктаров Т.К., Мамбетов Э.М., Жангазиева Г.А., Мисирова А.М. Инженерный анализ проблемных вопросов строительной физики //Наука и новые технологии. – № 1. – 2012. Бишкек. – С.19-21.

УДК 69.01-624.012

М.Д.Кутуев, Б.С.Матозимов, Т.К.Муктаров,
Э.М.Мамбетов, Э.Муқанбет кызы, А.М.Мисирова

ОЦЕНКА ВЕТРОВОГО РЕЖИМА МЕСТНОСТИ И СТОРОН ГОРИЗОНТА ПО КОМПЛЕКСУ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Действие ветра на человека связано с температурой и влажностью воздуха [1-7]. Ветер дает охлаждающий эффект при температурах приблизительно до 33 °С. На рис. 1 приводится график величин ветроохлаждений, построенный на основе данных скорости и температуры ветра. Кроме скорости и температуры, ветер характеризуется направлением

движения и повторяемостью в данном направлении. Направление ветра определяется точкой горизонта, от которой дует ветер. Обычно используются 8 направлений (румбов): С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ. Повторяемость ветра по различным направлениям оценивается в процентах по данному румбу, при этом повторяемость по всем румбам принята за 100 %.

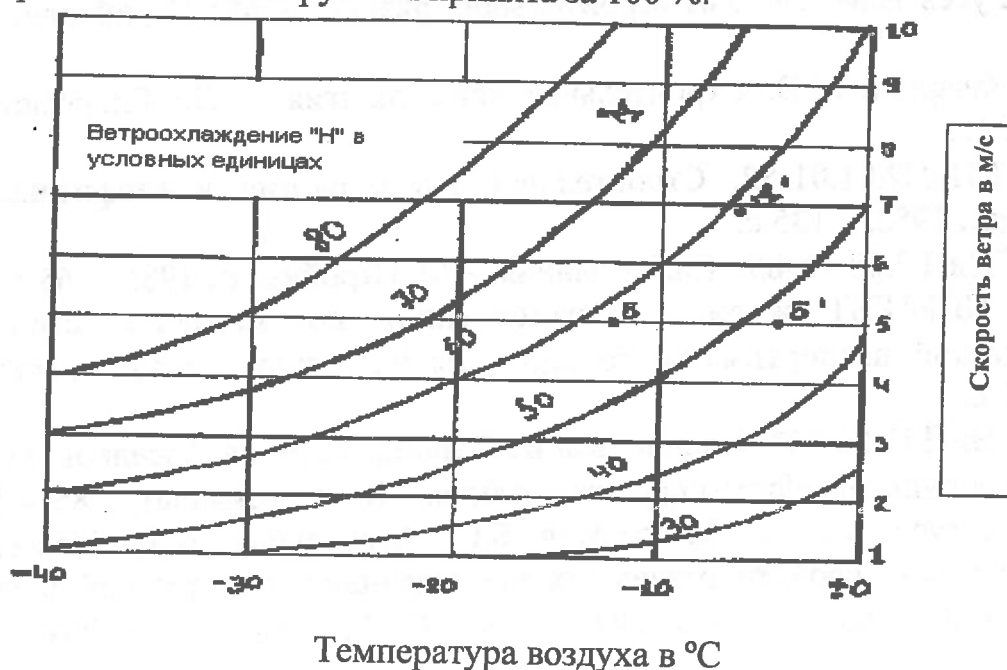


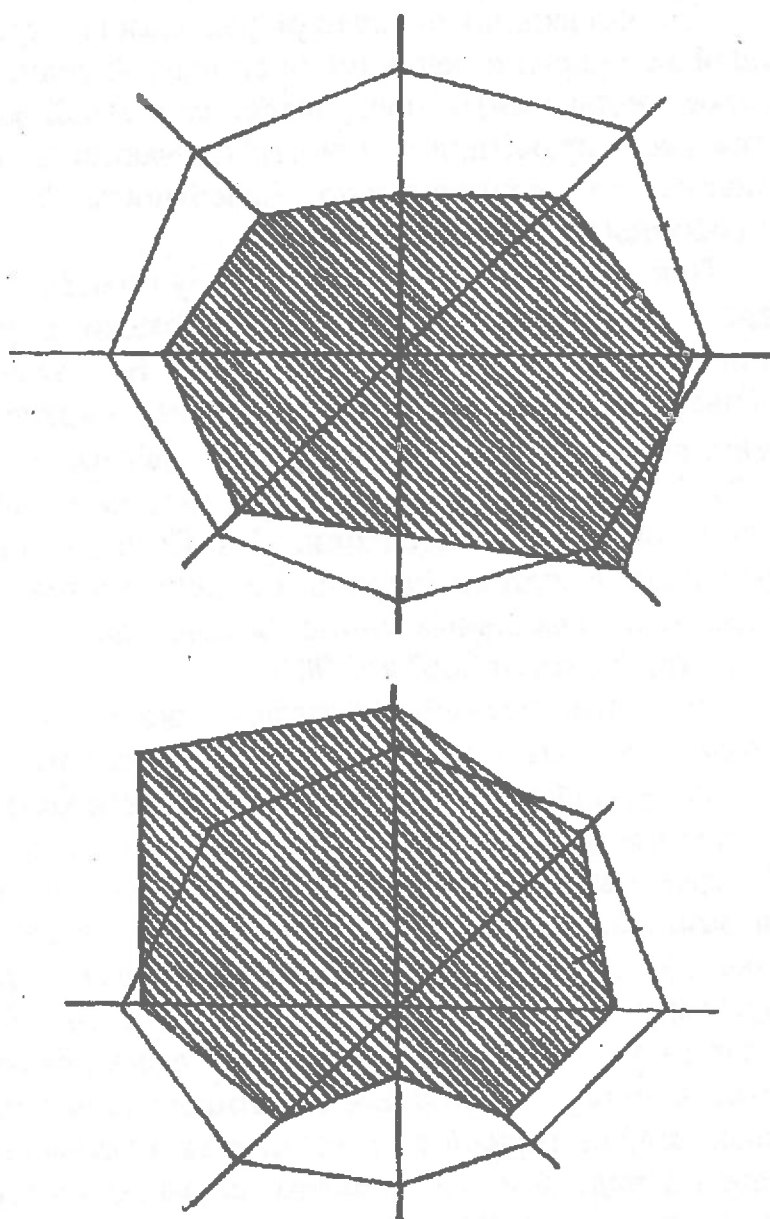
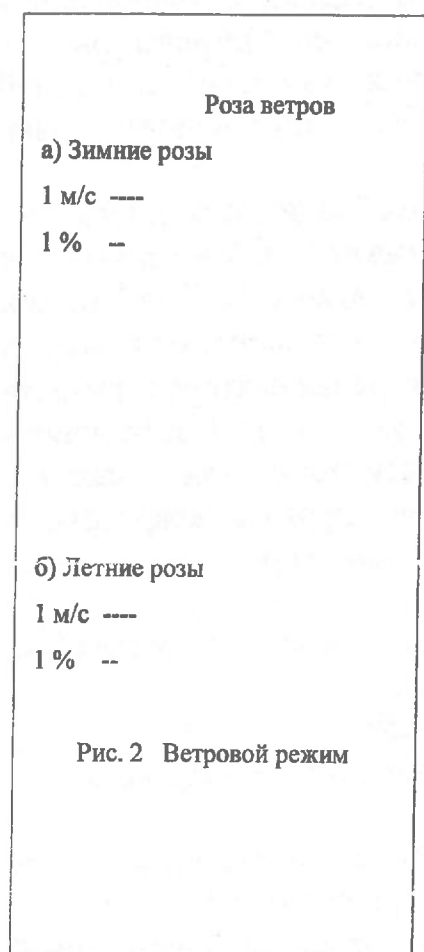
Рис.1. График ветроохлаждения

Ветроохлаждение определяется по формуле

$$N = (0,13 + 0,47 \sqrt{V}) \times (36,5 - t),$$

где N – ветроохлаждение в условных единицах, V – скорость ветра в м/с, t – температура в °C.

Характеристика ветрового режима выражается в виде “розы ветров”, которая на генплане застройки обычно располагается в верхнем углу чертежа. Для построения “розы ветров” отмечается 8 направлений (румбов), и от точки их пересечения вдоль каждого направления откладывается значение скорости v и повторяемости P ветра (масштаб v и P выбирается произвольно). Соединение между собой прямыми линиями точек значений v образует розу скоростей, а значений P – розу повторяемости (рис. 2).



направление ветра с наибольшей скоростью и т.д.) используются для решения планировочных задач, связанных с расположением промышленных и жилых зон, с выбором оптимальной ориентации улиц и зданий с выбором типа жилых секций и т.д.

Для решения целого ряда архитектурно-планировочных и архитектурно-конструктивных задач (выбор типа жилой секции, размещение и выбора типа солнцезащитных устройств на фасадах здания, ориентация зданий, конфигурация магистрально-уличной сети и т.д.) очень важно произвести оценку комплексного воздействия климатических факторов по направлениям сторон света. Эта оценка делается по основным климатическим факторам: по инсоляции, которая может играть и положительную (оздоровительную) и отрицательную (перегрев) роль, и по скорости и повторяемости ветра в связи с

температурой и влажностью воздуха.

Для оценки характера ветровых условий используются «розы ветров».

Для оценки по инсоляции учитывается траектория движения солнца в данной местности и величина поступлений солнечной радиации. Выполняется построение диаграммы поступлений солнечной радиации по 8 румбам (рис. 3). В каждом направлении точки откладываются значения суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность в Вт/м^2 ; полученные точки соединяются плавной кривой.

При оценке сторон горизонта учитывается необходимость инсоляции квартир в соответствии с гигиеническими нормативами, приведенными в строительных нормах и правилах. В связи с этими нормативными требованиями запрещается ориентировать квартиры, в которых все окна жилых комнат выходят на одну сторону дома, на север – в пределах сектора горизонта от 310° до 50° во всех климатических районах по недостаточности продолжительности инсоляции. Для III и IV климатических зон в связи с перегревом в летний период не допускается ориентировать квартиры, в которых все окна жилых комнат выходят на одну сторону горизонта, на запад (сектор горизонта от 200° до 290°).

При двусторонней ориентации жилых комнат квартир на указанные секторы горизонта допускается ориентировать не более:

одной жилой комнаты в двухкомнатных квартирах;

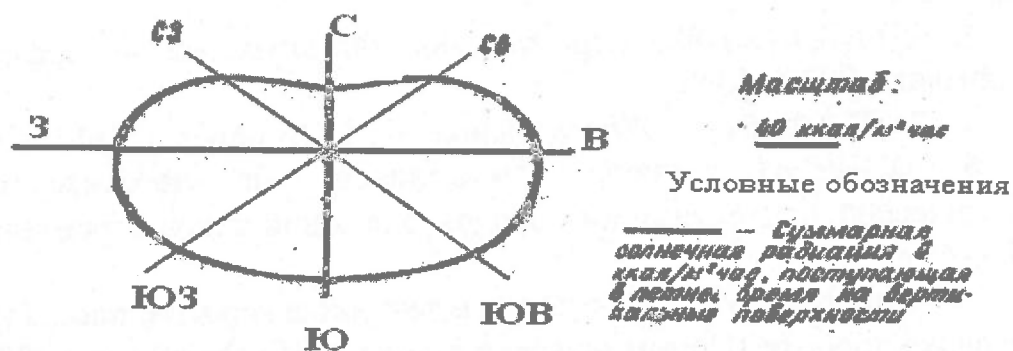
двух жилых комнат в трехкомнатных и четырехкомнатных квартирах;

трех жилых комнат в пятикомнатных квартирах.

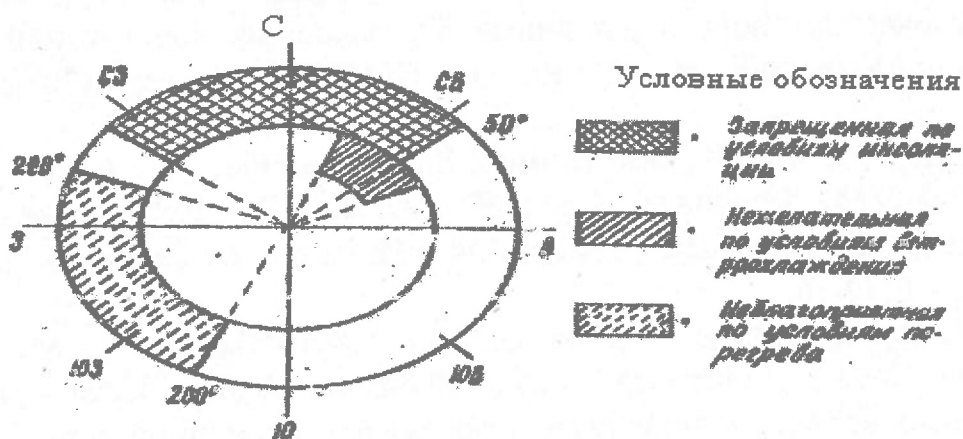
При размещении зданий в I и II климатических районах на территории, где преобладающие зимние ветры имеют направление в пределах от 290° до 70° , допускается ориентировать на этот сектор горизонта не более одной жилой комнаты в двухкомнатных и трехкомнатных квартирах и не более двух жилых комнат в четырехкомнатных и пятикомнатных квартирах. Для комплексной оценки сторон горизонта выполняется построение круговой диаграммы, на которой в виде секторов отмечаются запрещенные и благоприятные зоны по ориентации окон комнат в квартире.

Строится график поступлений солнечной радиации на вертикальные плоскости, ориентированные по 8 различным румбам (рис. 3).

Выполняется построение круговой диаграммы; на ней отмечаются секторы сторон горизонта, на которые запрещена ориентация окон однокомнатных и односторонних квартир, а также расчетных комнат в многокомнатных квартирах согласно нормативным гигиеническим требованиям по инсоляции жилых помещений.



1. Графики солнечной радиации



2. Диаграмма климатической оценки сторон горизонта

Рис.3. Оценка сторон горизонта по комплексу климатических факторов

Анализ зимней и летней розы ветров показывает, что только в СВ направлении и только зимой ветер дует со скоростью 5 м/с (скорость, при которой возникает дискомфорт и ветроохлаждение). Согласно вышеизложенному, на диаграмме отмечена нежелательная зона для ориентации жилых помещений.

Таким образом, комплексная оценка климатических факторов по сторонам горизонта выявляет оптимальные для данной местности ориентации для помещений: Ю и ЮВ. Эти ориентации соответствуют также максимальному бактерицидному действию солнечного облучения, а также установлены и изложены в /8-11/.

Список литературы

1. Лицкевич В.К. Учет климатических условий при проектировании жилых зданий в различных районах СССР. — М.: Стройиздат, 1975. — 94 с.
2. Гусев Н.М. Основы строительной физики. — М.: Стройиздат, 1975. — 440 с.
3. Заварина М.В. Строительная климатология. — Л.: Гидрометеиздат,

1976. – 121с.

4. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1982. – 135 с.

5. СНиП 2.08-01-85. Жилые здания. – М. Стройиздат, 1985. – 65 с.

6. ЦНИИЭП жилища. Рекомендации по методике строительно-климатической паспортизации городов для жилищного строительства. – М., 1981. – 40 с.

7. СНиП П-60-85*. Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1985. – 54 с.

8. Кутуев М. Д., Матозимов Б.С, Асаналиева Ж.Д. Исследование теплофизических свойств различных ограждающих конструкций в условиях республики Кыргызстана. – Б.: Вестник КГУСТА, выпуск 4 (30) 2010. – С.20-24.

9. Кутуев М. Д., Матозимов Б.С, Муқанбет к. Э., Муктаров Т.К., Мамбетов Э.М., Мисирова А.М., Жангазиева Г.А. Исследования основных параметров микроклимата помещений //Известия вузов. – № 1. – 2012. – Бишкек. – С.12-15.

10. Кутуев М. Д., Матозимов Б.С, Муқанбет к. Э., Муктаров Т.К., Мамбетов Э.М., Жангазиева Г.А., Мисирова А.М. Инженерный анализ проблемных вопросов строительной физики //Наука и новые технологии. – № 1, 2012. – Бишкек. – С. 19-21.

11. Кутуев М. Д., Матозимов Б.С. Концептуальный подход к проблемам строительной физики //Труды международной конференции по распространению упругих и упруго-пластических волн, посвященной 100-летию со дня рождения академика Рахматуллина /НАН КР. – Бишкек, 2009. –с.297-300.

УДК 539.421.2

А.Р.Баймахан, Ж.Ж.Кожамкулова,
Р.Б.Баймахан

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ СОСТОЯНИЙ ЛИТОСФЕРНОГО БЛОКА СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ В РАЗРЕЗЕ КАПШАГАЙ-ИССЫК-КУЛЬ

Результаты анализа работ по исследованию геомеханического состояния Северного Тянь-Шаня, а также космические снимки позволяют нам разработать на базе численных методов математики расчетные схемы по определению механических концентраций напряжений, ответственных за появление новых и оживление старых очагов землетрясений.

Для создания конечноэлементной расчетной схемы по определению

напряженно-деформированного состояния геологических разломов необходимо более точно определить местоположение территории, горных вершин и разломов на базе дешифровки новейших космических снимков. Ниже на рисунках показаны некоторые из таких картин, снятые из космоса. Эти GPS (Global Positioning System) снимки получены через системы GOOGLE.

Результаты GPS-измерений, полученные за последние годы, и в том числе на территории России и стран Средней Азии, еще раз со всей убедительностью указали на значимость горизонтальной составляющей тектонических движений в развитии земной коры и всей литосферы. С помощью глобальной спутниковой геодезии стало возможным не только получать высококачественную информацию о современной геодинамике, но и оперативно следить за всеми ее пространственно-временными изменениями, что особенно важно для целей адекватного сейсмического районирования и долгосрочного прогноза сильных землетрясений /4/. С того времени, как Ч. Рихтер в 1958 г. обнаружил направленную миграцию очагов землетрясений вдоль Северо-Анатолийского разлома в Турции, до сих пор продолжаются обсуждения и попытки объяснить это явление природы. Вполне логично допустить вопрос о миграции очагов землетрясения. Исследование этой проблемы имеет не только фундаментальное значение для понимания глобальной геодинамики, эволюции и энергетики планеты, но и чрезвычайно важно для оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений.

На рис. 1 и 2 показана территория Северного Тянь-Шаня в плане от Капшагая до Чолпон-Аты и Хажысая, затем от Алматы до Чолпон-Аты и до Хажысая.

Основная причина миграции эпицентров сильных землетрясений, по мнению некоторых исследователей, заключается в последовательном перераспределении концентрации механических напряжений в различных сегментах разлома, вызывающие землетрясения. Каждая сейсмическая подвижка по разлому приводит к повышению напряжений в других сегментах разломной зоны и создает, тем самым, условия для возникновения очередного сильного землетрясения.



Рис. 1. Северный Тянь-Шань. Вид в плане от Капшагая до Хажысая

Помеченная нами белая линия для удобства моделирования специально проведена по меридианной линии $E 77^{\circ}12'$. Желтая линия соответствует государственной границе. С двух ее сторон четко видны белоснежные вершины Заилийского и Кунгейского Алатау. Также ясно видно, что между Заилийскими и Кунгейскими антиклинориями протекают от меридианной линии налево Кеминские и направо – Шелекские реки. Вдоль этих рек находится особо крупный в регионе Шелеко-Кеминский сейсмоструктурный разлом.

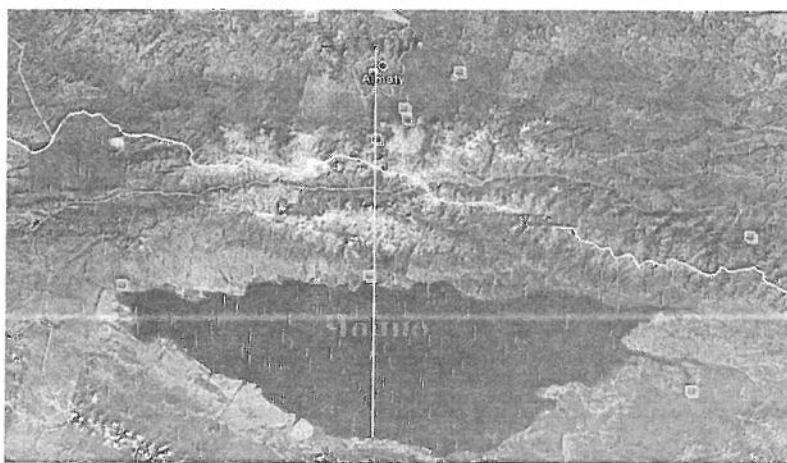


Рис. 2. Северный Тянь-Шань. Вид в плане от Алматы до Хажысай

На рис. 3 отдельно показан Шелеко-Кеминский разлом. Нетрудно заметить, что этот рисунок содержит более подробную информацию о возвышенностях и впадинах региона

Территория Северного Тянь-Шаня в крупном плане состоит из трех блоков, разделенных между собой Заилийскими и Кунгейскими антиклинориями. Они помечены цифрами I, II, III, IV, V, которые соответствуют: I – Алматинскому, II – Шелеко-Кеминскому, III – Иссыккульскому синклинориям и IV – Заилийским, V – Кунгейским антиклинориям.

Наконец, на рис. 4 отдельно показан Северо-Иссыккульский разлом, который расположен ниже уровня Чолпон-Аты, почти параллельно азимуту $N 42^{\circ}39'$.

На основе анализа и дешифровки этих снимков разработана расчетная модель вертикального разреза литосферного блока Северного Тянь-Шаня в направлении Капшагай-Хажысай. Эта расчетная модель со всеми точными геометрическими размерами показана на рис. 5.

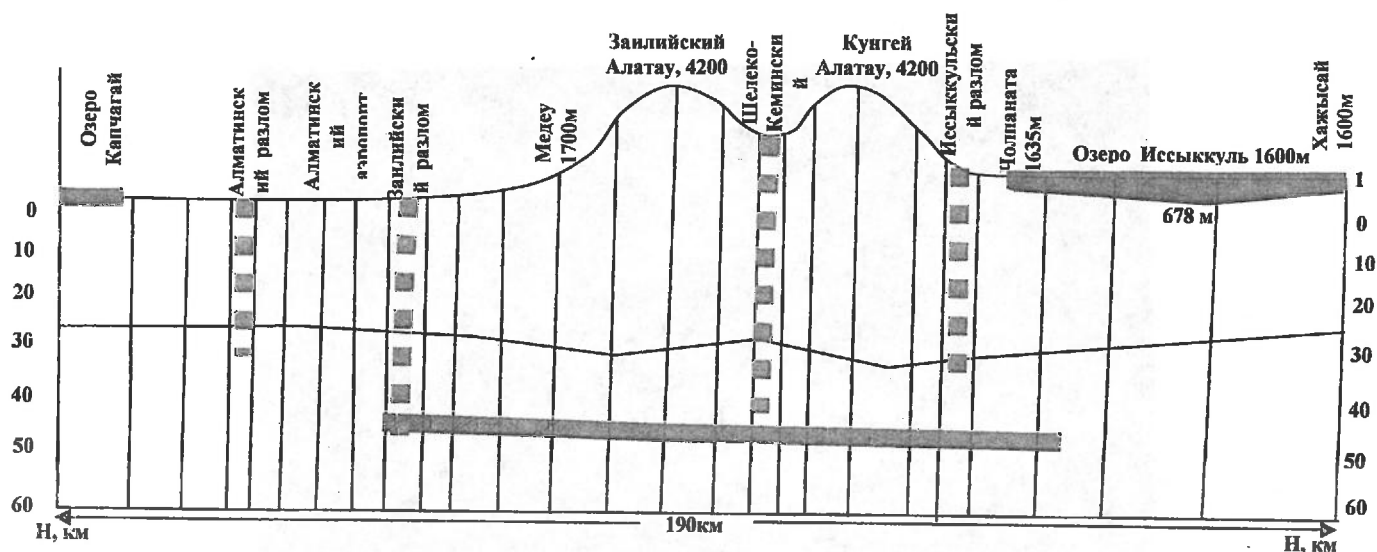


Рис. 5. Вертикальный разрез территории Северного Тянь-Шаня в разрезе от Капчагай до Хажысай

Эти данные дешифровки в дальнейшем позволят нам правильно построить механико-математическую модель литосферного блока Северного Тянь-Шаня.

Список литературы

1. Курскеев А.К., Тимуш А.В. Основные принципы сейсмического районирования и сейсмогенные зоны земной коры юго-востока Казахстана // Сейсмичность и прогнозирование землетрясений в Казахстане. – Алматы: Наука, 1983. – С. 12-34.

УДК 622.011.4+622.023

Ж.Ж.Кожамкулова, Р.Б.Баймахан, Н.В.Иваницкая,
А.Р.Баймахан

АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЙ КОНТУРОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Вопрос обеспечения устойчивости подземных сооружений является не менее важным, чем устойчивости наземных зданий и сооружений. В некоторых случаях в связи с производственной необходимостью подземные сооружения строятся ближе к поверхности земли. При глубоком заложении устойчивость подземных сооружений осложняется гравитационными и тектоническими силами, горными ударами и т.д. Поэтому нельзя однозначно утверждать об устойчивости подземных сооружений в зависимости от глубины

заложения. Подземные сооружения мелкого заложения подвергаются разрушению от больших деформаций. Эти вопросы проясняются только после проведения всесторонних научных исследований. Немаловажным вопросом изучения обеспечения устойчивости подземных сооружений от разрушений, кроме случаев взрывов из-за внезапного выброса метана, являются исследования типов и характеров разрушений вследствие воздействия гравитационных и тектонических сил.

Только в последние годы в казахстанских шахтах имело место печально большое количество человеческих жертв. Например, в 2006 году 20 сентября на шахте им. Ленина Карагандинской области погибло 43 человека. Взрыв на шахте «Абайская» АО «АрселорМиттал Темиртау», произошедший 11 января 2008 года, унес 30 человеческих жизней. В Кузбассе 19 марта 2007 г. погиб 71 шахтер. В результате взрыва в шахте в Шаньси 22 февраля 2009 г. погибли 74 человека.

Некоторые характерные формы деформации земной поверхности над разрушенными подземными сооружениями, типы разрушения контуров незакрепленных горных выработок и элементов крепей закрепленных выработок от геостатических тектонических сил показаны на рис. 1-4. На рис. 5 показана одна из причин разрушений – пожары.

Тектонические причины таких разрушений исследованы в работах /1, 2/.

Данные о разрушениях вследствие землетрясения в зависимости от особенностей конструкции и типа окружающих горных массивов, собранные из литературных источников, систематизированы в виде табл. 1. Здесь же показаны магнитуды и интенсивность некоторых землетрясений в баллах. Существуют шкалы измерения интенсивности: MSK – 12-балльная и Рихтера – 8. По крайней мере, в странах СНГ все еще применяется шкала MSK. Магнитуда M является наиболее важным параметром землетрясения.

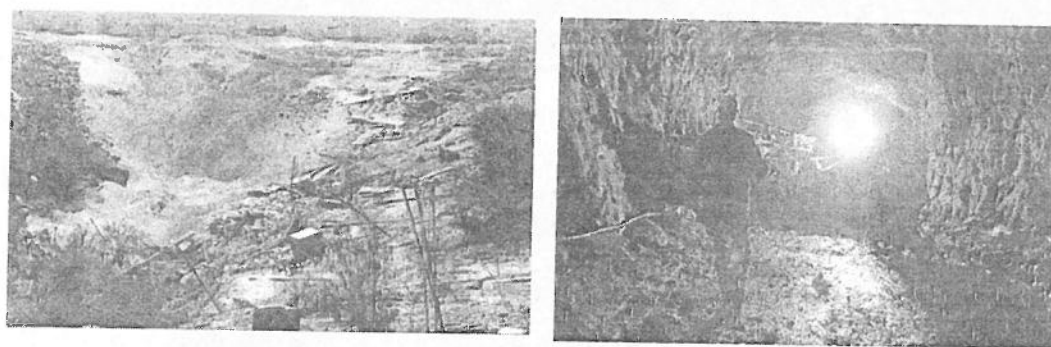


Рис. 1. а – вид шахты Абайская в Казахстане, б – разрушение боковых почвенных областей незакрепленной выработки /3/

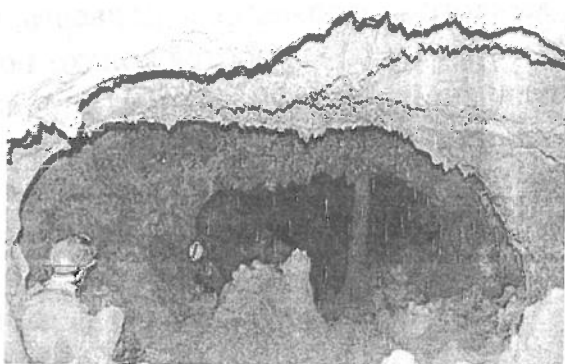


Рис. 2. а – разрушение стенок грота в пещере Синдибобель в результате воздействия тектонических сил, б – несимметричное разрушение стенок незакрепленной выработки шахты «Красная шапочка» в Свердловской области /4/

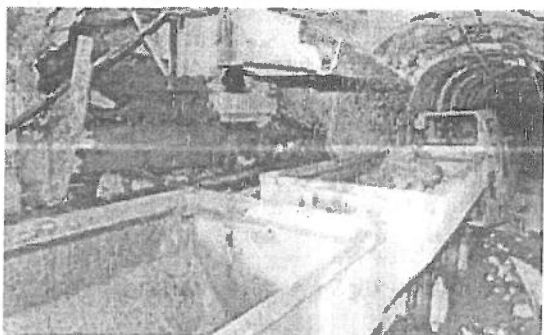


Рис. 3. а – разрушение горного массива вблизи крепи в шахте им. Ленина Карагандинской области Казахстана, б – разрушенные крепи выработки и вид деформации ее контура



Рис. 4. а – разрушения висячей области крепи выработки, б – обрушенный правый бок крепи горной выработки /5/

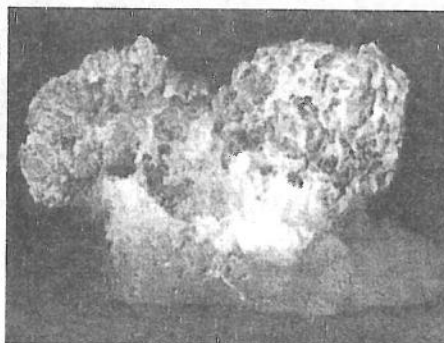
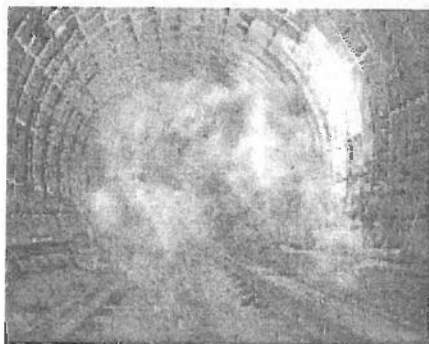


Рис. 5. Пожары в подземных сооружениях

Через него по уравнениям макросейсмики К.Рихтера, Б. Гутенберга, Т.Г. Раутиан и Н.В. Шебалина /9/ вычисляются энергетические классы, сейсмический момент, подвижки, энергии очага и интенсивности землетрясений для разных расстояний. Обзор разрушений подземных сооружений от землетрясений систематизирован в табл. 1.

Первые сведения по разрушениям подземных сооружений связаны с Калифорнийским землетрясением (18.04, 1906 г, магнитуда 8, 9, 10 баллов по шкале MSK). В зону разлома попали два тоннеля. Часть тоннеля была смещена к северу на 2,4 м. Припортальная часть этого тоннеля, имевшая обделку из каменной кладки толщиной около 42 см, была разрушена на протяжении 8,5 км /10/. Хронология исследований такова: систематический сбор и анализ сведений о поведении подземных конструкций при разрушительных землетрясениях впервые проведены при изучении последствий Японского землетрясения 1923 г. в г. Канто (01. 09. 1923 г., магнитуда 8,2) (табл. 1) /11/. В этом землетрясении были повреждены 82 из 116 тоннелей (трещины, разломы, обвалы, деформации и разрушения). В тридцатых годах также были собраны материалы о деформации подземных трубопроводов при землетрясениях в других регионах. Во время землетрясения на полуострове Идзу (Япония, 20.11. 1930 г. Магнитуда 7,1) поврежден тоннель длиной 7,8 км. Тоннель заложен на глубине 150 м. в илистом грунте (максимальная глубина заложения 230 м).

Таблица 1

Данные о повреждениях подземных сооружений во время землетрясений по работам /6-9/.

Землетрясения	Тоннели	Степень разрушений	Породы
США, Сан-Франциско, 18.04, 1906 г, М=8,3, 10 баллов.	8,5 км	Смещение от оси на 2,4 м. Толщина обделки 42 см, каменная кладка	Серпентинит, диабаз
Япония, г. Канто, 01. 09. 1923 г., М=8,2.	82 из 116 тоннелей 13 км.	Трещины, разломы, обвалы и деформации	Аллювиальные илистые грунты
Япония, полуостров Идзу, 20.11. 1930 г. М=7,1.	7,8 км, глубина 150–230 м.	Смещение обделки влево и вниз на 2,44 м	Глинисто-илистый грунт
Чили, Анды, 06.04. 1943 г., М=8,3.	—	Значительные повреждения	Скальные породы
США, Калифорния, 21.07.1952 г., М=7,7. 22.08.1952 г. М=5,8.	—	Полностью разрушены 4 из 15 тоннелей	—

Анкориджское землетрясение, Аляска 27.03.1964 г. М=8,4.	—	Повреждены 11 тоннелей на расстояниях 90–150 км от эпицентра	Метаморфические и осадочные горные породы
Ташкентское землетрясение 26.04.1966 г. 8 баллов.	Стыки 198 чугунных и 108 керамических труб	Разрушения – трещины, переломы керамических, железобетонных и асбоцементных труб	Глины, лессовидные суглинки, неуплотненные грунты
Газлийское землетрясение 08.04.1976. М=7, 17.05. 1976. М=7,3, 8-9 баллов.	Около 300 труб	Трещины, раздвижки, смещения и деформации	Различные осадочные грунты
Баткено-Исфаринское землетрясение, г. Шураб. 31.01.1977. М=6,5.	1.Шахта №8, глубина 326 м 2.Западный полевой штрек 3.Шахты №1–2	Вывалы до 0,5 м ² , трещины в бетонных креплениях до 12 мм ² . Металлическая крепь – деформация, деревянная крепь – разрушение Тяжелые повреждения: значительные деформации металлической крепи, вывалы бетонов до 6 м ² , трещины до 70-80 мм	Глинистый грунт, гравелит, песчаник песчаники, сланцы
Японское землетрясение Кобэ, 1995 г. М=7,3.	Наземные и подземные сооружения	24 станции метрополитена были повреждены и разрушены 150 000 зданий	разные

Японское землетрясение Фукусима, 11 марта 2011 г. М=9,0. 8-9 баллов. Сильно пострадали префектуры Фукусима, Мияга, Тиба, Аомори, Ибараки, Иватэ, Ниигата, Тотиги, Сайтама, Гумма Цунами, пожары, наводнения, разрушения атомных электростанций.	Пострадало Токийское метро: линии Гиндза, Хандзомон, Оэйоэдо и другие	Только в одном Токио пострадали 4 000 000 зданий. Разрушены здания в Йокогаме, Хашинохэ, Корияма, Иваки, Минами-Санрику, Хигаши-Матсushima, Минамисома, Офунато, Сендай, Курихара, Рикузентаката и др. Ущерб 309 миллиардов долларов.	Грунты разные. Полгода ушло только на вычистку мусора от разрушений в городах. По тогдашним прогнозам на восстановление разрушенных городов Японии потребуется десять лет.
---	---	---	--

Главная трещина дала смещение обделки влево и вниз на 2,44 м. Некоторые сведения о переходе горного массива в пластическое состояние, предшествующее разрушению различных типов подземных сооружений и трубопроводов, имеются также в работах /12, 13/. На основе анализа повреждения 71 подземного сооружения от землетрясений Ч. Даудин предлагает оценить их пятью категориями: 1 – смещения по контактам; 2 – общее искривление; 3 – локальные трещины; 4 – растрескивания и обрушения горных пород и 5 – частичное обрушение.

Подземные конструкции и сооружения при сильнейших землетрясениях разрушались во время землетрясения в Кобе (Япония) 1995 года с магнитудой 7,5. В сообщениях Н.Iida, Т.Hirota, N.Yoshida, M.Zwafuji, а также K.Ishihara /11-13/ описывают различные объекты, претерпевшие значительные повреждения вплоть до полнейшего разрушения. Так, например, на рис. 6 показаны разрушения не только кровли и боков, но и были разрушены колонны станции Daikai метрополитена в городе Кобе, хотя станция заложена довольно глубоко на 50 м от земной поверхности /11 -13/.

Общий анализ показывает, что во время сильных землетрясений подземные сооружения могут разрушаться как при мелких, так и при глубоких заложениях, а также в толщах грунтов и в скальных породах. Факторы, влияющие на разрушения, многообразны. Прочность элементов конструкций или креплений зависит не только от применяемых материалов, но и от физико-механических свойств окружающего массива. Тем не менее, можно заметить два характерных момента. Подземные сооружения глубокого заложения разрушаются вследствие динамических напряжений, превосходящих предел прочности материалов креплений. Трубопроводы обычно пролегают в нескольких метрах от земной поверхности, часто в насыпных грунтах.

Поскольку жесткостные свойства насыпного грунта (лессы, суглинки, галечники и т.д.) на два, три порядка меньше по сравнению с жесткостью горных пород, то можно полагать, что трубопроводы разрушаются, скорее, от больших деформаций.

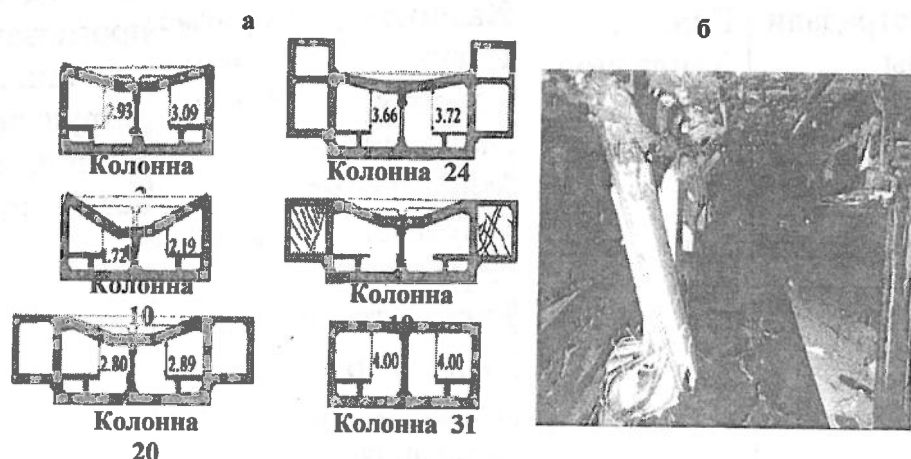


Рис. 6. Разрушенные: а – кровли, бока и б – колонны станции Daikai метрополитена в городе Кобе

Список литературы

1. Hast N. The state of stresses in the upper of the Farthes crust // Tectonophisics. – 1969. – V.8. – №3.
2. Айтматов И.Т. О распределении естественных напряжений в породных массивах верхней части земной коры // Горная наука в Кыргызстане в XX веке. – Бишкек: Илим, 2000. – 378 с.
3. www.rosbalt.ru
4. <http://vershina-tour.narod.ru/p38.htm>
5. <http://www.donbasskrep.com.ua/index9.html>
6. Комплексная оценка сейсмической опасности // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 32. – 1991. – С. 188.
7. Reports of the Imperial Earthquake Investigation Committee. №100, d.Tokyo, 1926.
8. Штейнбругге К.В., Моран Д.Ф. Инженерный анализ последствий землетрясений 1952 г. в Южной Калифорнии. – М., 1957. – С. 270.
9. Рашидов Т.Р., Дорман И.Я., Ишанходжаев А.А. и др. Сейсмостойкость туннельных конструкций метрополитенов. – М: Транспорт, 1975.– С. 120.
10. Сейсмостойкость транспортных сооружений // Межведомственный совет по сейсмостойкому строительству АН СССР. – М., Наука, 1980. – С. 127.

11. Iida H., Hirota T., Yoshida N. and Iwafuji M. Damage to Daikai Subway Station. //Soil and Foundations, Special Issue, pp.283-300.

12. Ishihara K. Geotechnical Aspects of the 1995 Kobe Earthquake. //Terzaghi Oration 14th ICSMFE, Hamburg, 1997, p. 1-26.

13. Ishihara K. Performance of tunnels and underground structures during earthquakes. //International Conference on Soil-Structure Interaction in Urban Civil Engineering. 8-9 October 1998, p. 19-31.

УДК 622.011.4+622.023

А.С.Кожебаева, Р.Б.Баймахан,
Ж.К.Кулмаганбетова

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ЗАДАЧИ НЕОДНОРОДНО АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА, СОДЕРЖАЩЕГО ГОРНУЮ ВЫРАБОТКУ

В природе горные породы имеют слоистую структуру (рис. 1). Как правило, напластования и слоистости массива бывают наклонными, что, в свою очередь, составляет сложную структуру массива и ориентирует на анизотропные модели.

Трансформированная модель массива в указанном выше смысле соответствует мелкомасштабной слоистости и кусочно-однородной крупномасштабной слоистости, когда слои непрерывно контактируют. Расчетные модели такого типа слоистости казахстанскими геомеханиками очень хорошо изучены. Реальную наклоннослоистую структуру горного массива лучше описывает модель наклоннослоистого массива Ж.С.Ержанова, Ш.М.Айтиалиева, Ж.К. Масанова, Р.Б. Баймахана [ЕАМБ], с помощью которой аналитическими /1, /2, /3/ и численными методами механики деформируемого твердого тела решен ряд задач подземных сооружений /4, 5, 6, 7, 8/ и др.

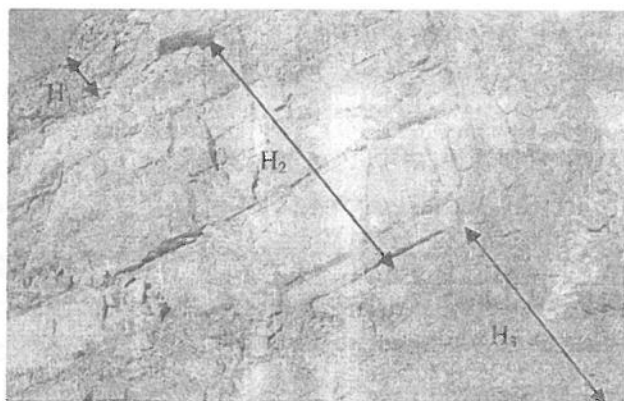


Рис. 1. Пример наклонно-слоистого трансформированного строения массива горных пород: H_1 – поверхностные осадочные отложения; H_2 – мелкие слои; H_3 – крупные слои

На рис. 1 и 2 показаны примеры реальных строений горных массивов анизотропного наклонно-слоистого строения и заложенного в нем транспортного подземного сооружения.

Состояние современных подземных сооружений осложняется в связи с повсеместным углублением горизонта горных работ, освоением месторождений полезных ископаемых со сложными геологическими условиями высокогорья, складчатости и тектонической нарушенности.

При этом активно действующими силами, наряду с собственным весом массива, рассчитываемым ниже горизонта, выступают вес горной части (возвышаемый над горизонтом), изменяющийся по нелинейной зависимости, из-за структурной неоднородности геологической среды (отличный от веса по Диннику); тектонические силы, направленные горизонтально и порою несколько раз превышающие вертикальные силы (вес массива); изменяющиеся по глубине, а по некоторым предположениям они имеют остаточные величины на земной поверхности.

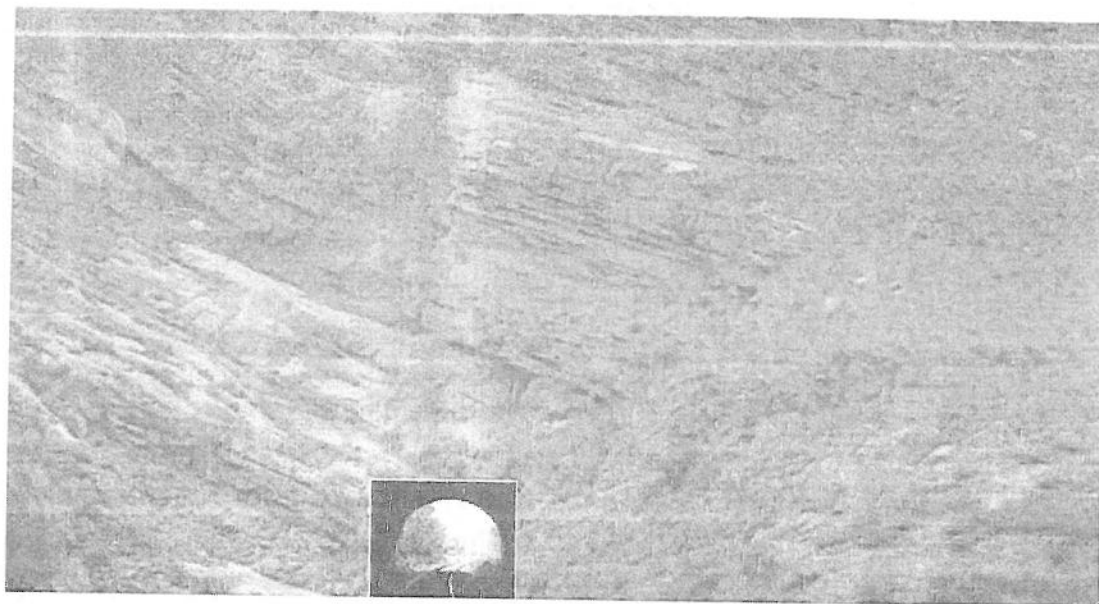


Рис. 2. Пример прохождения протяженного транспортного тоннеля через анизотропный горный массив наклонного и мелкослоистого строения

Рудное тело, которое имеет наклонно-слоистое строение с углом наклона φ_1 , может располагаться, в свою очередь, в скальном массиве, который тоже имеет наклонно-слоистое строение с другими углами наклонов φ_2 (рис. 3). Естественно, вследствие многовекового геостатического и тектонического сжатия нижние и верхние границы рудного тела находятся в жестком контакте со скальной породой.

Теперь изложим конечноэлементный алгоритм составления матрицы пластичности элемента по Ямаде применительно к определению пластических зон вокруг выработки в транстропном массиве

Уравнение статического равновесия с учетом геостатических и

тектонических сил составляем по общеизвестному правилу МКЭ в виде /5/.

$$[R] \cdot \{U\} = \{F\} + \{T\}, \quad (1)$$

где $[R]$ – матрица жесткости системы; $\{U\}$ – вектор перемещений; $\{F\}, \{T\}$ – векторы гравитационных и тектонических сил. Система уравнений (1) решается любым из численных методов, применяемых в МКЭ. Компоненты деформации и напряжений вычисляются с помощью матричных соотношений

$$\{\varepsilon\} = [B]\{U\}, \quad (2)$$

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (3)$$

где $\{\varepsilon\}$ и $\{\sigma\}$ – векторы компонент деформации и напряжений и $[D]$ – матрица упругих характеристик, состоящая из упругих постоянных для транстропного массива.

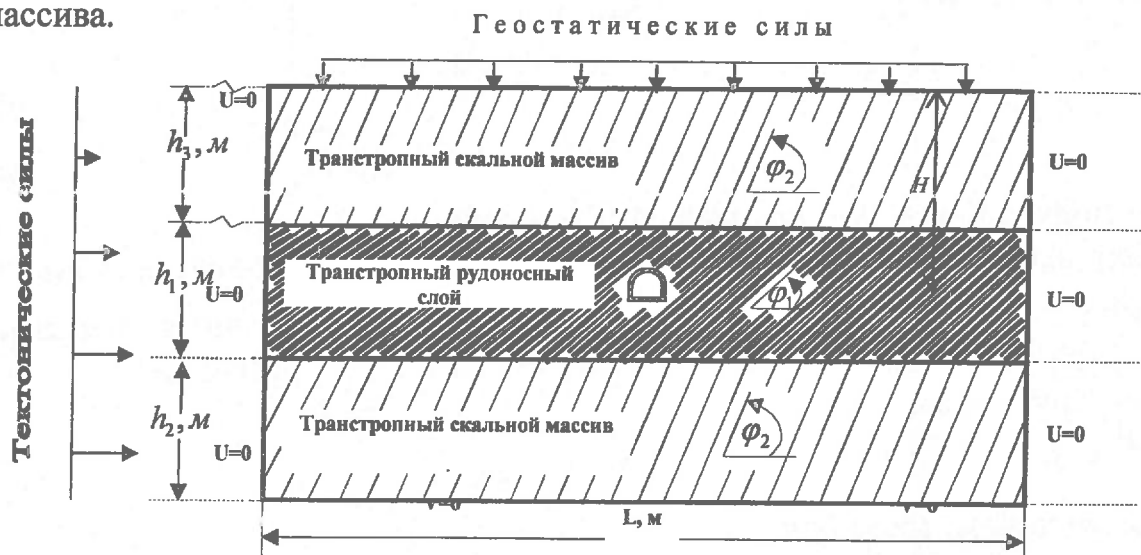


Рис. 3. Схема расположения выработки в неоднородно транстропном массиве

В упругопластических задачах для пластических областей часто вызывает затруднения составить матрицу пластичности элемента в явном виде. И здесь применяются различные подходы. Нам кажется, что среди всех подходов самым удобным является прямое составление матрицы пластичности по методу И. Ямады, Н. Иошимуры и Т. Сакураи. Этот подход почему-то не приводится в литературе по МКЭ. Известно, что в теории приращений пластической деформации уравнения равновесия МКЭ записываются в виде /9/

$$[R]\{dU\} = \{dF\}, \quad (4)$$

где $[R]$ – матрица упругопластической жесткости системы, $\{dU\}$ – приращение перемещений, $\{dF\}$ – приращение нагрузок. Поскольку матрица $[R]$ в данном подходе формируется суммированием для упругой области матрицы жесткости элементов (МЖЭ) $[k]$ и для пластической области из матрицы пластичности элемента (МПЭ) $[k]^p$, то для удобства представим ее в виде

$$[R] = \sum_{q=1}^N ((k-2) * [r]^e + ((k-1) * [r]^p), \quad k = 1, 2 \quad (5)$$

Здесь $k=1$ соответствует упругим, $k=2$ — пластическим элементам, q — номера конечных элементов. МЖЭ и МПЭ составляются обычными правилами МКЭ с помощью матрицы упругости $[D]^e$ и пластичности $[D]^p$. Структура матрицы упругости $[D]^e$ в МКЭ широко известна и имеет следующий вид /9/.

$$[D]^e = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & & & & \\ \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & & & \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \quad (6)$$

где E — модуль Юнга, ν — коэффициент Пуассона.

Матрица пластичности составляется по закону Прандтля-Рейсса. Матрицы жесткости элементов $[r]^e$ и $[r]^p$ при применении конечных элементов треугольной формы вычисляются с помощью следующих уравнений:

для упругого состояния

$$[r]^e = \int [B]^T [D]^e [B] dV, \quad (dV = t dx dy) \quad (7)$$

для пластического состояния

$$[r]^p = \int [B]^T [D]^p [B] dV, \quad (8)$$

где $[B]$ — матрица базисных функции; $[B]^T$ — транспонированная матрица $[B]$.

Для пластического состояния Y Yamada и др. /10/ получили следующую симметричную матрицу:

$$[D]^p = [D]^e - \frac{2G}{s} \begin{bmatrix} \sigma_x'^2 & & & & & \\ \sigma_x' \sigma_y' & \sigma_y'^2 & & & & \\ \sigma_x' \sigma_z' & \sigma_y' \sigma_z' & \sigma_z'^2 & & & \\ \sigma_x' \tau_{yz} & \sigma_y' \tau_{yz} & \sigma_z' \tau_{yz} & \tau_{yz}^2 & & \\ \sigma_x' \tau_{zx} & \sigma_y' \tau_{zx} & \sigma_z' \tau_{zx} & \tau_{yz} \tau_{zx} & \tau_{zx}^2 & \\ \sigma_x' \tau_{xy} & \sigma_y' \tau_{xy} & \sigma_z' \tau_{xy} & \tau_{yz} \tau_{xy} & \tau_{zx} \tau_{xy} & \tau_{xy}^2 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где $\sigma_x', \sigma_y', \sigma_z'$ — компоненты девиатора напряжения; $\tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy}$ — касательные напряжения.

Вычисляется параметр S :

$$S = (2/3)\bar{\sigma}^2 \left(\frac{H'}{3G} + 1 \right) \quad (10)$$

где $H' = d\bar{\sigma} / d\bar{\epsilon}^p$, $\bar{\sigma}^2 = 3/2(\sigma_x'^2 + \sigma_y'^2 + \sigma_z'^2 + 2\tau_{yz}^2 + 2\tau_{zx}^2 + 2\tau_{xy}^2)$

$$d\bar{\epsilon}^p = \sqrt{2/3(d\epsilon_x^{p2} + d\epsilon_y^{p2} + d\epsilon_z^{p2} + 1/2(\gamma_{yz}^{p2} + \gamma_{zx}^{p2} + \gamma_{xy}^{p2}))}$$

В этих выражениях G – модуль сдвига; H' – наклон кривой интенсивности напряжений $\bar{\sigma}$; $d\bar{\epsilon}^p$; $d\epsilon_x^p, d\epsilon_y^p, d\epsilon_z^p, \gamma_{yz}^p, \gamma_{zx}^p, \gamma_{xy}^p$ – пластические деформации. Напряжения и полная деформация получаются интегрированием величин приращений, вычисленных на каждом этапе приращения нагрузок. Процедуру применения такого подхода алгоритма Y. Yamada изложил в работе /10/.

Список литературы

1. Ержанов Ж.С., Айтиалиев Ш.М., Масанов Ж.К. Устойчивость горизонтальных выработок в наклонно-слоистом массиве. – Алма-Ата, 1971: – 160 с.
2. Ержанов Ж.С., Айтиалиев Ш.М., Масанов Ж.К. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в слоистом анизотропном массиве. – Алма-Ата, 1980. – С. 206.
3. Ескалиев М.Е., Баймахан Р.Б., Мурзабеков Г.Т., Кожамкулова Ж.Ж. Влияние внутреннего давления на контуре полости на размер упругопластических зон в мелкослоистом массиве // Вестник КазГУ. Серия: математика, механика, информатика. – 2002. – №1(26). – С.102–107.
4. Салгараева Г.И. Жерасты казбаларынын кернеулик–деформацияланган куйіне массивтиң геологиялык бузылуларынын асери. Автореф. ... дисс. канд. физ.-мат. Наук. –Алматы, 2004. – С. 24.
5. Баймахан Р.Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов / Под ред. Ш.М. Айтиалиева. – Алматы, 2002. – С. 232.
6. Рысбаева Г.П. Закономерности трещинообразования на контуре подземного сооружения в анизотропном массиве: Автореф. ... дисс. канд. физ.-мат. наук. –Алматы, 2010. – 21 с.
7. Сейнасинова А.А. Напряженное состояние слабосвязного массива в окрестности подземной выработки с учетом естественных и искусственных неоднородностей: Автореф. ... дисс. канд. физ.-мат. наук. – Алматы, 2010. – 88 с.
8. Кожамкулова Ж.Ж. Упругопластическое состояние выработки в неоднородном массиве со специальными условиями пластичности: Автореф. ... дисс. канд. физ.-мат. наук. – Алматы, 2010. – 21 с.
9. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – С.

10. Yamada Y., Yoshimura N., Sakurai T. Plastic Stress-strain Matrix and Its Application for the Solution of Elasto-Plastic Problems by the Finite Element Method. Ibid. Vol.10, 1968. - P. 343.

УДК 622.011.4+622.023

Р.Б.Баймахан, А.С.Кожебаева, Наозо Фукуда

РАЗРАБОТКА КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЙ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС КОНТУРА ТОННЕЛЯ В НЕОДНОРОДНО ТРАНСИЗОТРОПНОМ МАССИВЕ С УЧЕТОМ ГЕОСТАТИЧЕСКИХ И ТЕКТНИЧЕСКИХ СИЛ

Разработана методика задания геостатических и тектонических сил в расчетах МКЭ, конечноэлементная расчетная схема задачи и систематизированы данные о физико-механических и прочностных свойствах материалов горных пород и крепи.

По гипотезе Динника в нетронутом массиве полагается возможной только вертикальное перемещение

$$u^0 = w^0 = 0, \quad v^0 = v(y). \quad (1)$$

Литостатическое давление определяется как

$$\sigma_y^0 = -\gamma H, \quad \sigma_x^0 = -\lambda \gamma H, \quad \tau_{xy}^0 = 0, \quad \lambda = \frac{\nu}{1-\nu}, \quad (2)$$

где γ – объемный вес породы; ν – коэффициент Пуассона; λ – коэффициент бокового распора. Геостатическая сила вычисляется по следующему алгоритму, удобному для программирования:

$$\{P\}_q^e = \{P\}_q^e + \sum_{i=1}^9 \gamma^e H^i S^e / 8, \quad (3)$$

где e – номер текущего элемента; $q = 1, 2 \dots 8$ – порядковые номера узловых точек; γ^e – объемный вес, S^e – площадь e -го элемента; H^i соответствует высотам точек интегрирования i и вычисляется через весовые коэффициенты α_i и координаты ξ_i, η_i . В данной программе счета количество внутренних точек интегрирования i для каждого элемента было принято равным 9 (рис. 1).

Для расчета тектонических сил применяется полуэмпирическая формула Н. Хаста (Hast N, 1969) /2/:

$$T_H = T_{H0} + \lambda \gamma H, \quad T_h = T_{h0} + \lambda \gamma H, \quad (4)$$

где T_H – тектоническое напряжение на глубине H в горизонтальном направлении; T_{H0} – значение напряжений вблизи земной поверхности; T_{h0} – тектоническое напряжение, действующее в горизонтальном направлении, но перпендикулярное к T_{H0} . В выражении (4) значения λ в реальной среде

отличаются друг от друга во взаимно перпендикулярных горизонтальных направлениях из-за анизотропии (т.е. в виде λ_x, λ_y). Вертикальное тектоническое напряжение $T_v \geq \gamma H$. Объединив выражения (2) и (4), следуя обозначениям [3], запишем

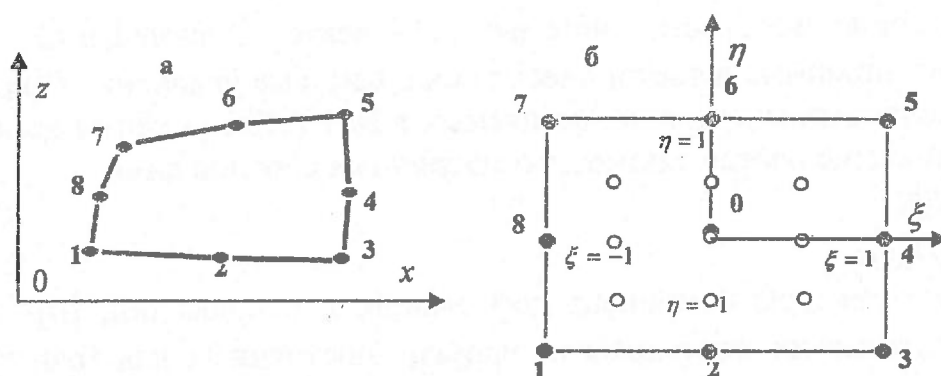


Рис. 1. Четырехугольный изопараметрический восьмиузловой элемент 2-го порядка сирендипового семейства: а – в декартовой xOz , б – в местной $\xi O\eta$ системах координат. Светлые кружочки – места внутренних точек интегрирования i [1/

$$T\sigma = T\sigma_{\gamma H} + T\sigma_T = \begin{vmatrix} \lambda\gamma H & 0 & 0 \\ 0 & \lambda\gamma H & 0 \\ 0 & 0 & \gamma H \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} T_H & 0 & 0 \\ 0 & \phi T_H & 0 \\ 0 & 0 & \chi T_H \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где $\nu \leq \phi \leq 1$, $\chi \geq 0$ – коэффициенты бокового и вертикального сжатия; T_H определяется по (4). Данные П.Н.Кропоткина по горизонтальным тектоническим напряжениям для различных глубин сведены в табл. 1. По этим данным на Балтийском и Канадских щитах горизонтальное сжатие составляет $T_H + T_h = 187 + 0,97H$ (H – в м), по Северной Америке $T_H + T_h = 46 + 0,54H$, в Фенноскандии на глубине 1000 м $T_H = 28 + 0,4H$, $T_h = 22 + 0,24H$, сумма $T_H + T_h = 50 + 0,64H$. На одном из рудников Казахстана на основании экспериментальных исследований установлены следующие соотношения

$$T_v = \gamma H, \quad T_H = 140 + 0,4\gamma H, \quad T_h = 70 + 0,4\gamma H.$$

Суммарные компоненты напряжений представим в виде: $T_z = \gamma H + \chi T_v$, $T_x = \lambda\gamma H + \phi T_H$, $T_y = \lambda\gamma H + T_h$. Для проверочных расчетов положим $\phi = 0,8$, $\chi = 0$.

Тектонические силы вычисляются аналогично (3) для суммирования

$$\{T\}_q^e = \{T\}_q^e + \sum_{i=1}^9 \bar{\beta}^e H^i S^e / 8, \quad (6)$$

где $\bar{\beta}$ – коэффициент тектонического сжатия, имеющий размерности, как и объемный вес γ , определяется из измеренных данных на шахтных выработках

и скважинах. Вычисленные по выражению (11) тектонические силы аналогично объемному весу прикладываются к каждому узлу e -го элемента.

Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) составляется по обычной методике МКЭ с помощью /1/.

$$[R] \cdot \{U\} = \{F\} + \{T\}, \quad (7)$$

где $[R]$ – матрица жесткости системы; $\{U\}$ – вектор перемещений; $\{F\}, \{T\}$ – векторы гравитационных и тектонических сил. Система уравнений (7) решается любым из численных методов, применяемых в МКЭ. Компоненты деформации и напряжений вычисляются с помощью матричных соотношений

$$\{\varepsilon\} = [B]\{U\}, \quad (8)$$

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (9)$$

где $\{\varepsilon\}$ и $\{\sigma\}$ – векторы компонент деформации и напряжений, $[D]$ – матрица упругих характеристик, состоящая из упругих постоянных для трансформного массива.

Таблица 1

Физико-механические и прочностные свойства грунтов и горных пород /4/

Типы	Грунт и порода	h , км	$E \cdot 10^{-5}$, кг/см ²	ν	γ , т/м ³	$\sigma_{сж}$, кг/см ²	σ_p , кг/см ²	$\tau_{сд}$, кг/см ²
1	Песчаник, глина	1,0	1,00	0,28	2,35	120	10	25
3	Твердая глина	1,0	1,35	0,31	2,43	240	30	60
4	Аргиллит	1,0	1,42	0,32	2,31	410	25	75
6	Мрамор	2,8	2,10	0,27	3,06	470	30	80
7	Гранитоид	4,0	10,60	0,28	2,87	465	70	110
8	Известняк каменный	6,0	83,00	0,24	2,50	2850	125	600
9	Базальт лабрадорский	10,0	141,00	0,25	3,40	3960	165	660

Поскольку матрица $[R]$ в данном подходе формируется суммированием для упругой области матрицы жесткости элементов (МЖЭ) $[k]$ и для пластической области из матрицы пластичности элемента (МПЭ) $[k]^p$, то для удобства представим ее в виде

$$[R] = \sum_{q=1}^N ((k-2) * [r]^e + ((k-1) * [r]^p)), \quad k = 1, 2 \quad (10)$$

Здесь $k = 1$ соответствует упругим, $k = 2$ – пластическим элементам, q – номера конечных элементов. МЖЭ и МПЭ составляются обычными правилами МКЭ с

помощью матрицы упругости $[D]^*$ и пластичности $[D]^p$.

В табл. 1 приведены прочностные свойства основных горных пород, слагающих земную кору, собранные из различных литературных источников.

Табл. 2 содержит числовые данные по тектоническим напряжениям по всему земному шару, систематизированные П.Н. Кропоткиным. Некоторые экспериментальные данные по измерению тектонических напряжений в угольных шахтах имеются также в работе.

Теперь, разработав расчетную схему задачи для проведения расчетов, систематизируем физико-механические и прочностные свойства материалов горных пород и крепи с назначением граничных условий.

Расчетная область, состоящая из скального массива и рудного тела, имеющая наклонно-слоистое трансформное строение /5/, находящаяся в нем горная выработка, характерные геометрические размеры и граничные условия задачи показаны на рис. 2.

Таблица 2

Величины сжимающих тектонических и скалывающих напряжений в земной коре по П.Н. Кропоткину /5/

	Местность	Глубина H , м	T_H , кг/см ²	$\tau_{\max}$, кг/см ²
1	2	3	4	5
1	Гималаи, в неглубоких слоях	кора	1000-1500	—
2	Альпийский сдвиговый разлом	8000	—	1000-1500
3	Континентальная кора	4500-8000	—	1000-1440
4	Северная часть Индийского океана, очаги землетрясения	13000-29000	—	2000-3000
5	Земная кора	1000-5000	1000-6000	150
6	Зоны вокруг Тихого океана	40000	12500	—
7	В зонах Японии и Курил	Кора	2000-4000	—
8	Альпийские складчатости по М. В. Гзовскому /5/	Кора	1000-3000	500-1500
9	Северный Тянь-Шань по М. В. Гзовскому /5/	Кора	—	500-1500
10	На рудниках Средней Азии /6/	50-400	100-400	—

Геометрические размеры: высота и ширина расчетной области $\bar{H}$, м; толщина рудного слоя $h_1 = 20$ м; толщина нижнего скального массива $h_3 = 90$ м; глубина заложения выработки $H = h_1/2 + h_3$.

Граничные условия задачи: дневная поверхность тяжелой полуплоскости свободна от нагрузок: $\sigma_n = \tau_n = 0$.

На боковых границах отсутствуют горизонтальные компоненты напряжений: $U = 0, V \neq 0$. Нижние границы жестко закреплены в вертикальном

направлении: $V = 0, U \neq 0$.

Высота и ширина выработки - 5м, радиус свода - 2.5м. Толщина крепи $\delta = 0,20\text{м}$. Рудное тело и скальный массив имеют различные углы наклонов плоскостей изотропии: φ_1 и φ_2 .

В расчетах рассмотрены варианты изменения значений углов наклонов плоскостей изотропии в следующих пределах: $0 \leq \varphi_1 \leq 90^\circ$; $0 \leq \varphi_2 \leq 90^\circ$.

В МКЭ матрица жесткости системы $[R]$ обладает рядом особенностей: имеет симметричную, ленточную структуру, является положительно определенной. Из-за таких свойств матрицы предпочтение отдается методам итерации и Гаусса. В итерационных методах для решения системы уравнений равновесия потребуется n^2 , а в методе Гаусса - n^3 операций, где n - порядок решаемой системы. Поэтому с вычислительной точки зрения более подходящим является итерационный метод.

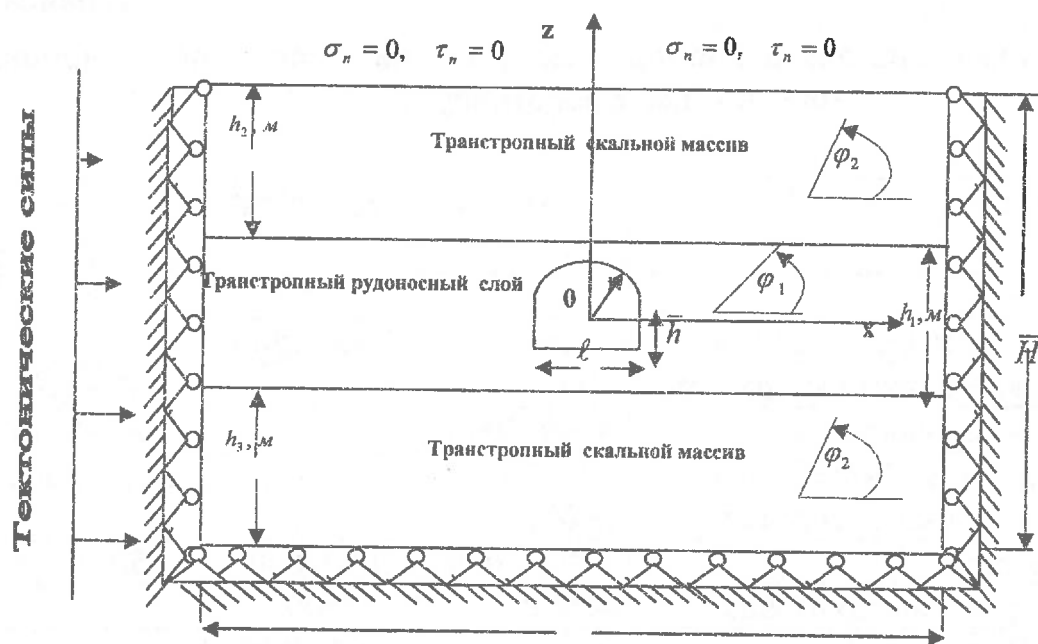


Рис. 2. Расчетная схема исследуемой области подземного сооружения в массиве неоднородно анизотропного строения

В свою очередь, существуют различные алгоритмы итерационных методов. К ним относятся итерационные методы Якоби, Рундсона, Зейделя, Янга [1]. Разновидность метода Янга в МКЭ известна как метод верхней релаксации или метод Гаусса-Зейделя. Алгоритм метода Якоби имеет следующий вид:

$$u_n = R_{nn}^{-1} \left\{ F_n - \sum_{i=1}^{n-1} R_{ni} u_i - \sum_{i=n+1}^N R_{ni} u_i \right\}. \quad (11)$$

Алгоритм Гаусса-Зейделя

$$u_n^m = R_{nn}^{-1} \{ F_n - \sum_{i=1}^{n-1} R_{ni} u_i^m - \sum_{i=n+1}^N R_{ni} u_i^{m-1} \}. \quad (12)$$

Метод последовательной верхней релаксации с коэффициентом β ускоряет процесс вычислений

$$u_n^m = u_n^{m-1} + \beta(u_n^{m*} - u_n^{m-1}). \quad (13)$$

где u^{m*} — величина перемещений, вычисленная в соответствии с (12). Обычно быстрое решение в МКЭ достигается при $1.8 \leq \beta \leq 1.9$; вообще же по рекомендации Янга $1 < \beta < 2$ для алгебраических уравнений с различными структурами матриц.

Далее, после решения СЛАУ (7) по изложенным алгоритмам (11)-(13) компоненты деформации и напряжений вычисляются с помощью выражений (8) и (9).

Данные о прочностных и физико-механических свойствах приведены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-механические и прочностные свойства рудного тела и скального массива транстропного строения по КАДАСТРУ /4/

Порода	Модуль упругости $E \cdot 10^4 \text{ МПа}$		Коэффициент Пуассона ν		Предел прочности и при сжатии $\sigma_{сж}, \text{ МПа}$		Предел прочности при растяжении $\sigma_{рас}, \text{ МПа}$		Объемный вес γ	Коэффициент сцепления		Угол внутреннего трения	
	$E_{\parallel}$	$E_{\perp}$	$\nu_{\parallel}$	$\nu_{\perp}$	$\sigma_{сж \parallel}$	$\sigma_{сж \perp}$	$\sigma_{рас \parallel}$	$\sigma_{рас \perp}$		$C_{\parallel}$	$C_{\perp}$	$\varphi_{\parallel}$	$\varphi_{\perp}$
Угольный пласт	0,54	0,32	0,34	0,36	16	12	5	5	2,3	45	0,4	31^0	29^0
Алеврит	3,2	1,6	0,32	0,38	9	8	10	6	2,6	47	0,25	172^0	7^0

Разработана расчетная схема задачи неоднородно анизотропного массива, содержащего горную выработку. Также изложены методики применения геостатических и тектонических сил в расчетах МКЭ, конечноэлементная расчетная схема задачи и систематизированы данные о физико-механических и прочностных свойствах материалов горных пород и крепи.

Список литературы

1. Бате К., Вильсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. — М.: Стройиздат, 1982. — С. 447.
2. Hast N. The state of stresses in the upper of the Farthes crust //

Tectonophysics. 1969. – V.8. – № 3.

3. Турчанинов И.А., Марков Г.А. и др. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок. – Л., 1978. – 256 с.

4. Справочник (КАДАСТР) физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1975. – 279 с.

5. Кропоткин П.Н. Тектоническое напряжение в земной коре // Геотектоника. – 1996. – № 2. – С. 3-15.

6. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Масанов Ж.К. Устойчивость горизонтальных выработок в наклонно-слоистом массиве. – Алма-Ата, 1971. – 160 с.

УДК 622.011.4+622.023

Г.И.Салгараева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НДС КОНТУРА ЗАКРЕПЛЕННОЙ ВЫРАБОТКИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В НЕОДНОРОДНО АНИЗОТРОПНОМ МАССИВЕ, ОТ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Из-за сложности решаемой задачи в такой постановке решим ее методом конечных элементов (МКЭ) /1/.

В МКЭ одними из важных этапов являются сборка глобальных матриц жесткости и векторов нагрузки, формирование и решение системы линейных алгебраических уравнений.

Матричное уравнение является стандартной формой записи системы линейных алгебраических уравнений метода конечных элементов:

$$[K]\{U\} = \{F_v\} + \{F_t\} \quad (1)$$

где K – глобальная матрица жесткости конечно-элементной модели; U – глобальный вектор степеней свободы модели; F_v – глобальный вектор узловых сил, статически эквивалентный заданным объемным силам; F_t – глобальный вектор узловых сил, статически эквивалентный тектоническим силам.

Матрица жесткости конечных элементов формируется следующим образом /1/:

$$[k]^{e,ij} = \int_{\Omega^e} h^e [B^{e,ij}]^T [D]^e [B^{e,ij}] d\Omega, \quad (2)$$

где B^e – матрица градиентов элемента e ; $i, j = 1, 2, 3, \dots, 9$; D^e – матрица упругих модулей элемента e ; h^e – толщина элемента e ; Ω^e – площадь элемента e .

$$[k]^e = \{[k]^{e,ij}\}_{i,j=1}^9.$$

Матрица жесткости конечно-элементной модели формируется путем сложения по определенным правилам элементных матриц жесткости:

$$[K] = \sum_{e=1}^N [k]^e \quad (3)$$

Геостатическая сила вычисляется по следующему алгоритму, удобному для программирования.

$$\{P\}_q^e = \{P\}_q^e + \sum_{i=1}^9 \gamma^e H^i \Omega^e / 8, \quad (4)$$

где e — номер текущего элемента; $q = 1, 2 \dots 8$ — порядковые номера узловых точек; γ^e — объемный вес, Ω^e — площадь e -го элемента; H^i соответствует расстоянию от земной поверхности до рассматриваемой точки интегрирования i и вычисляется через весовые коэффициенты α_i и координат ξ_i, η_i . В данной программе счета количество внутренних точек интегрирования i для каждого элемента было принято равным 9 (рис. 1).

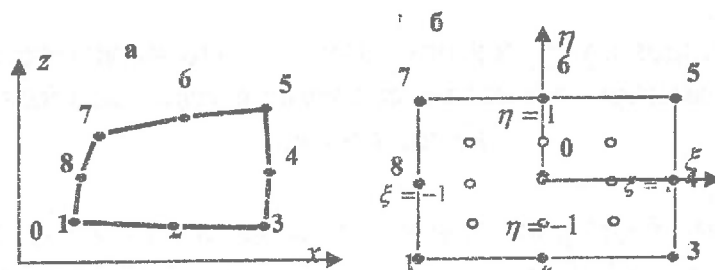


Рис. 1. Четырехугольный изопараметрический восьмиузловой элемент 2-го порядка сирендипового семейства: а — в декартовой xOz , б — в местной $\xi O\eta$ системах координат. Светлые кружочки — места внутренних точек интегрирования i /1/

Тектонические силы вычисляются аналогично (4) для суммирования

$$\{T\}_q^e = \{T\}_q^e + \sum_{i=1}^9 \bar{\beta}^e H^i S^e / 8, \quad (5)$$

где $\bar{\beta}$ — коэффициент тектонического сжатия, имеющий размерность, как и объемный вес γ , определяется из измеренных данных на шахтных выработках и скважинах. Вычисленные по выражению (6) тектонические силы аналогично объемному весу прикладываются к каждому узлу e -го элемента.

Система уравнений (1) решается любым из численных методов, применяемых в МКЭ. Компоненты деформации и напряжений вычисляются с помощью матричных соотношений

$$\{\varepsilon\}^u = [B]^u \{U\}, \quad (6)$$

$$\{\sigma\}^u = [D]\{\varepsilon\}^u, \quad (7)$$

где $\{\varepsilon\}$ и $\{\sigma\}$ — векторы компонент деформации и напряжений.

По алгоритмам (1)–(7) решена задача об определении НДС контура

закрепленной выработки, находящейся в неоднородно анизотропном массиве, от геостатической и тектонической нагрузки. Расчетная область со смешанными граничными условиями показана на рис. 2.

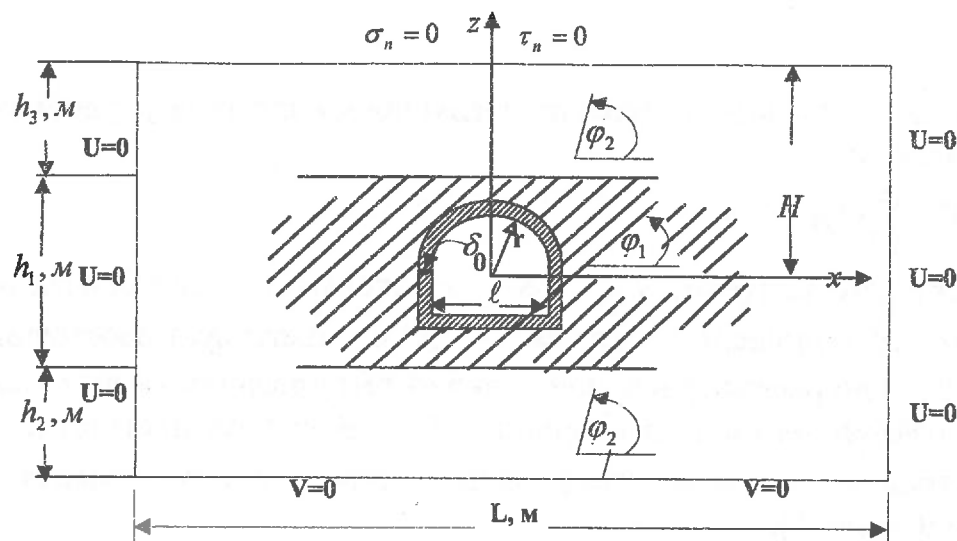


Рис. 2. Закрепленная с упругой бетонной крепью выработка находится в угольном пласте наклоннослоистого строения с углом наклонов к плоскости изотропии φ_1

Геометрические размеры: радиус выработки $r = 2,5\text{ м}$, толщина крепи $\delta = 0,20\text{ м}$, ширина выработки $\ell = 10\text{ м}$, толщина угольного пласта $h_1 = 20\text{ м}$, ширина расчетной области $L = 200\text{ м}$. Выработка заложена в середине угольного пласта $h_1/2$. Высота скального массива снизу угольного слоя $h_2 = 90\text{ м}$. Глубина заложения выработки от земной поверхности $H = h_3 + h_1/2$ — переменная, поскольку h_3 — переменная. В качестве материала крепи принят бетон со следующими физико-механическими свойствами. Модуль Юнга — $E = 2.32\text{ Мпа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.22$, Объемный вес $\gamma = 2.7\text{ т/м}^3$.

Модуль Юнга крепи 2-3 раза больше, чем угольного слоя и скального массива. Тяжелее и по объемному весу. Массив находится направленным вниз в поле геостатических и горизонтально направленной тектонической силы.

На рис. 3 на глубине заложения выработки $H = 200\text{ м}$ от земной поверхности эпюры напряжений от геостатической нагрузки мало отличаются от симметричного случая. Концентрации напряжений наблюдаются в основном в областях углов затупления на лежащих боках. Величины концентрации упругих нормальных тангенциальных сжимающих напряжений σ_n^0 во всех вариантах углов наклона плоскостей изотропии приблизительно одинаковые. Лишь при влиянии горизонтально направленной тектонической силы величины напряжений значительно увеличиваются. Почвенные области массива находятся в разгруженных состояниях.

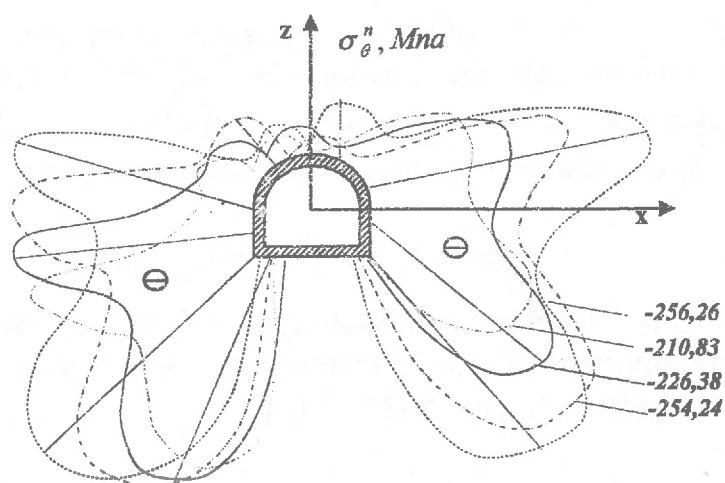


Рис. 3. Эпюры сжимающих упругих нормальных тангенциальных компонент напряжений σ_{θ}^n на внутреннем контуре закрепленной выработки от геостатической нагрузки при глубине заложения $H=200$ м, $\varphi_1=0$. Линии

1- ---- $\varphi_2=0$; 2- --- $\varphi_2=30^\circ$; 3- — $\varphi_2=45^\circ$; 4- — $\varphi_2=60^\circ$

Теперь рассмотрим вариант учета влияния тектонической силы в случае, когда скальный массив сверху и снизу угольного слоя является горизонтально слоистым, а угольный пласт имеет наклоннослоистую структуру (рис. 1 и 4).

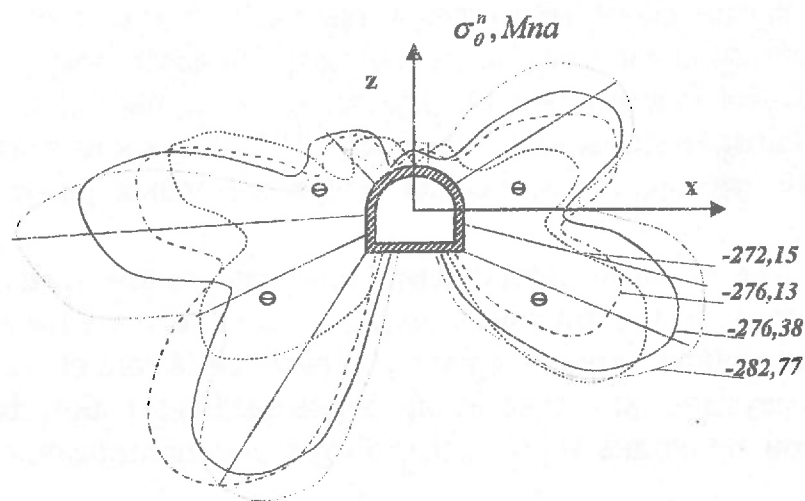


Рис. 4. Эпюры сжимающих упругих нормальных тангенциальных компонент напряжений σ_{θ}^n в контуре закрепленной выработки от тектонической нагрузки при глубине заложения $H=200$ м, $\varphi_2=0$. Цифры показывают значение напряжений в МПа. Линии соответствуют:

1- ---- $\varphi_1=0$; 2- --- $\varphi_1=30^\circ$; 3- — $\varphi_1=45^\circ$; 4- — $\varphi_1=60^\circ$

В этом случае и на границах контакта разнородных массивов, и на внутреннем контуре выработки величины концентрации напряжений увеличиваются значительно. Значительные по величине сжимающие

напряжения появляются и в областях правого висящего бока. Во всех рассмотренных вариантах как при геостатической, так и при тектонической нагрузке непосредственно над кровлей величина σ_n^0 намного меньше. Почвенная область здесь также находится в разгруженном состоянии.

Список литературы

1. Баймахан Р.Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов / Под ред. Ш.М. Айталиева. – Алматы: Даур, 2002. – 231 с.

УДК 622.274:622.235

С.Т.Рустемов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВРУБОВ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТОК ПЕРЕНОСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Проходка подготовительных выработок с использованием переносного оборудования всегда сопряжена с использованием непосредственного человеческого физического непроизводительного труда, и горнорабочие при выполнении такого сложного и физического труда часто получают травмы. В таких условиях КИШ как правило низким, и это приводит к формированию «стаканов» с остатками взрывчатых веществ (ВВ), что часто является причиной травматизма. Например, при проведении буровзрывных работ на подземных рудниках до 40 % несчастных случаев происходит при зарядении и до 20 % – при взрывании шпуров [1]. В этой связи актуальным является определение области применения различных типов врубов, обеспечивающих КИШ не менее 0,9...0,95, что улучшит как показатели буровзрывных работ, так и состояние травматизма при проходке горных выработок с использованием переносного оборудования.

Для определения рациональной области применения различных способов образования врубовых полостей были проведены экспериментальные работы на руднике "Юбилейный" и использованы статистические данные других рудников.

В табл. 1 приведены показатели шпуровой отбойки для призматических, пирамидальных, секционно-призматических и секционно-пирамидальных врубов при различных крепостях рудных тел, различных сечениях горных выработок. Согласно приведенным данным, независимо от крепости горного массива с увеличением сечения выработки КИШ увеличивается с 0,68 до 0,78 для призматических врубов и с 0,66 до 0,80 – для пирамидальных. Из графиков

изменения КИШ от сечения выработок, представленных на рис. 1, 2, 3, видно, что переход с призматического типа вруба на пирамидальный целесообразен для крепостей $f=8...10$ при сечении $9,4 \text{ м}^2$ и больше, для крепостей $f=11...14$ начиная с сечения 8 м^2 , а для более крепких пород уже с $6,5 \text{ м}^2$ выгоднее применять пирамидальный вруб /2/.

Таблица 1

Показатели шпуровой отбойки для различных типов врубов

Кре-пость	Глубина шпура, м	Сече-ния, м^2	Кол-во шпуров, шт.	Общая глубина шпуров, м	КИШ	Объем отбитой горной массы, м^3	Удельный расход ВВ, кг/м^3
Вруб призматический							
8÷10	1,6	4,0	18	28,8	0,6	4,35	4,827
11÷14	1,6	4,0	18	28,8	8	4,35	4,828
15÷18	1,6	4,0	18	28,8	0,6 8 0,7	4,48	4,687
8÷10	1,6	5,8	18	28,8	0,7	6,50	3,230
11÷14	1,6	5,8	25	40,0	0,6	6,22	4,662
15÷18	1,6	5,8	25	40,0	7 0,7 2	6,68	4,341
8÷10	1,6	9,0	32	51,2	0,7	10,8	3,426
11÷14	1,6	9,0	32	51,2	5	10,67	3,468
15÷18	1,6	9,0	32	51,2	0,7 4 0,7 7	11,09	3,336
8÷10	1,6	9,8	32	51,2	0,7	12,07	3,065
11÷14	1,6	9,8	32	51,2	7	11,76	3,146
15÷18	1,6	9,8	34	54,4	0,7 5 0,7 8	12,23	3,271
Вруб пирамидальный							
8÷10	1,6	4,0	18	28,8	0,6	4,22	4,976
11÷14	1,6	4,0	18	28,8	6	4,22	4,976
15÷18	1,6	4,0	18	28,8	0,6 6 0,6 8	4,35	4,827
8÷10	1,6	5,8	25	40,0	0,6	6,22	3,376
11÷14	1,6	5,8	25	40,0	7	6,22	3,376
15÷18	1,6	5,8	27	43,2	0,6 7 0,7 1	6,59	4,187
8÷10	1,6	9,0	32	51,2	0,7	10,66	3,471

11÷14	1,6	9,0	34	54,4	4	10,66	3,752
15÷18	1,6	9,0	34	54,4	0,7	11,23	3,561
					4		
					0,7		
					8		
8÷10	1,6	9,8	34	54,4	0,7	12,07	3,314
11÷14	1,6	9,8	34	54,4	7	11,92	3,356
15÷18	1,6	9,8	34	57,6	0,7	12,54	3,349
					6		
					0,8		
					0		
Вруб секционнo-призматический							
8÷10	1,6	4,0	17/4	30,4	0,9	5,95	3,697
11÷14	1,6	4,0	17/4	30,4	3	5,89	3,735
15÷18	1,6	4,0	17/4	30,4	0,9	5,82	3,780
					2		
					0,9		
					1		
8÷10	1,6	5,8	17/4	30,4	0,9	8,63	2,549
11÷14	1,6	5,8	17/4	30,4	2	8,54	2,576
15÷18	1,6	5,8	17/4	30,4	0,9	8,44	2,607
					2		
					0,9		
					1		
8÷10	1,6	9,0	30/4	52,0	0,9	15,21	2,498
11÷14	1,6	9,0	30/4	52,0	7	14,9	2,550
15÷18	1,6	9,0	30/4	52,0	0,9	15,05	2,525
					5		
					0,9		
					6		

Крепос ть	Глубин а шпура, м	Сеч е- ния, м ²	Кол-во шпуров, шт.	Общая глубина шпуров, м	КИ Ш	Объем отбито й горной массы, м ²	Удельн ый расход ВВ, кг/м ³
Вруб секционнo-пирамидальный							
8÷10	1,6	4	17/4	30,4	0,9	5,76	3,819
11÷14	1,6	4	17/4	30,4	0	5,76	3,819
15÷18	1,6	4	17/4	30,4	0,9	5,70	3,860
					0		
					0,8		
					9		
8÷10	1,6	5,8	17/4	30,4	0,9	8,44	2,607
11÷14	1,6	5,8	17/4	30,4	1	8,44	2,607
15÷18	1,6	5,8	17/4	30,4	0,9	8,54	2,576
					1		
					0,9		
					2		

8÷10	1,6	9	30/4	52,0	0,9	13,97	2,720
11÷14	1,6	9	31/4	53,6	7	13,68	2,851
15÷18	1,6	9	31/4	53,6	0,9	13,68	2,851
					5		
					0,9		
					5		
8÷10	1,6	9,8	31/4	53,6	0,9	15,37	2,537
11÷14	1,6	9,8	31/4	53,6	8	15,21	2,564
15÷18	1,6	9,8	32/4	55,2	0,9	14,9	2,685
					7		
					0,9		
					5		

Для секционных способов образования врубовых полостей, если при крепости 8...10 переход с призматического на пирамидальный рекомендуется с сечения 7 м^2 и больше, то для более крепких пород такой переход возможен с $6,5 \text{ м}^2$ для $f=11...14$ и уже с $5,8 \text{ м}^2$ для $f=15...18$.

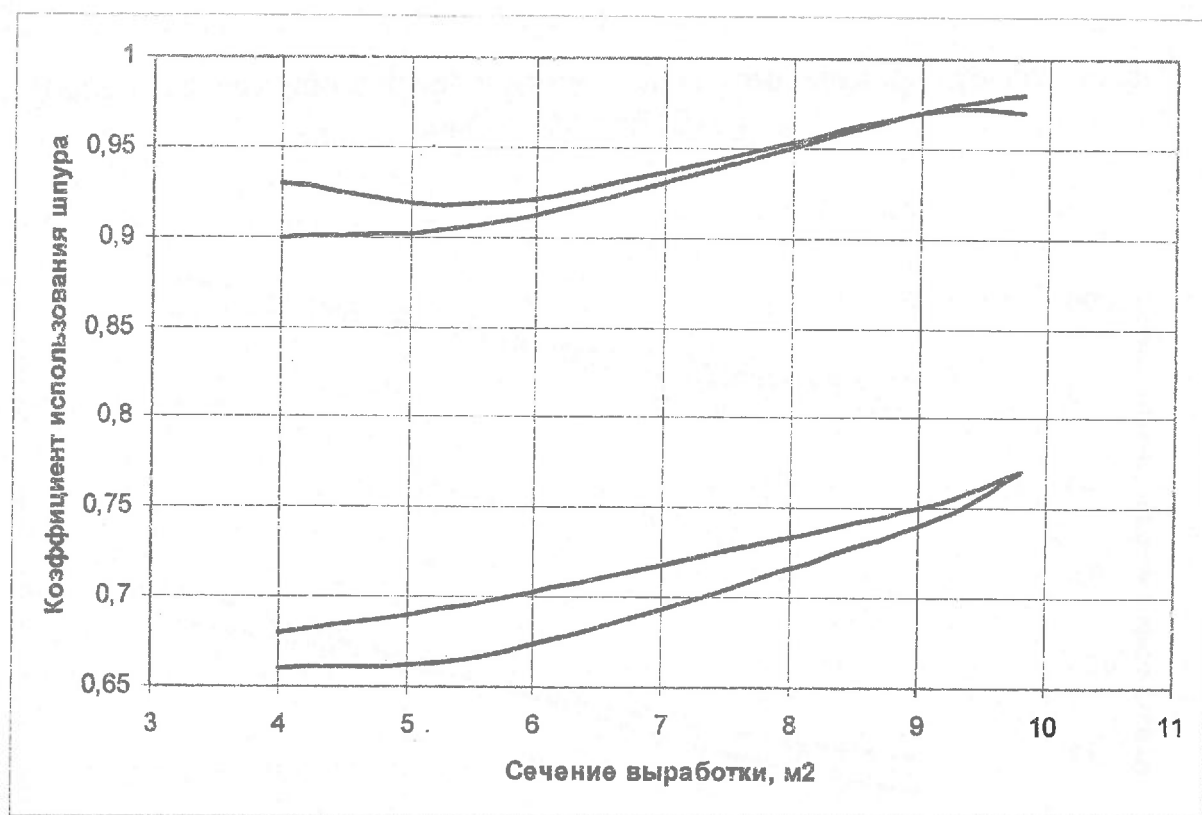


Рис. 1. Область применения различного типа врубов при крепости пород 8-10 по шкале М.М. Протодяконова

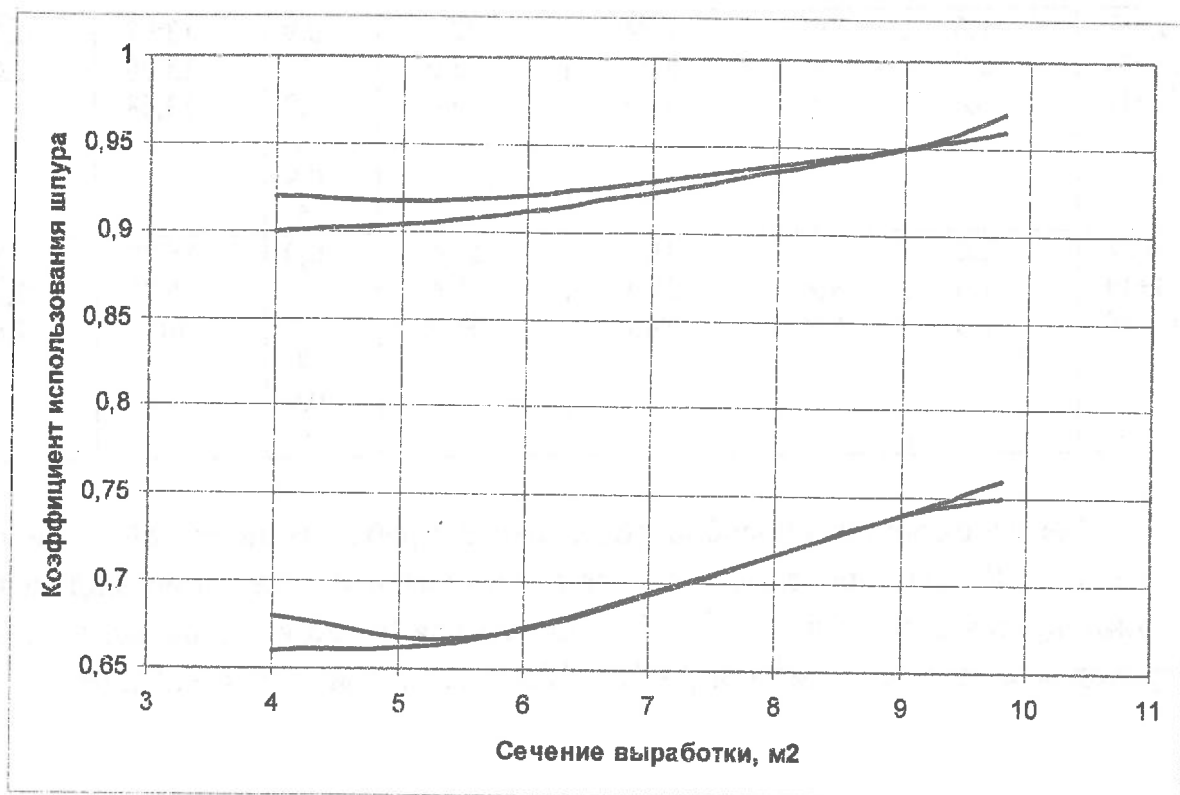


Рис. 2. Область применения различного типа врубов при крепости пород 11-14 по шкале М.М. Протодяконова

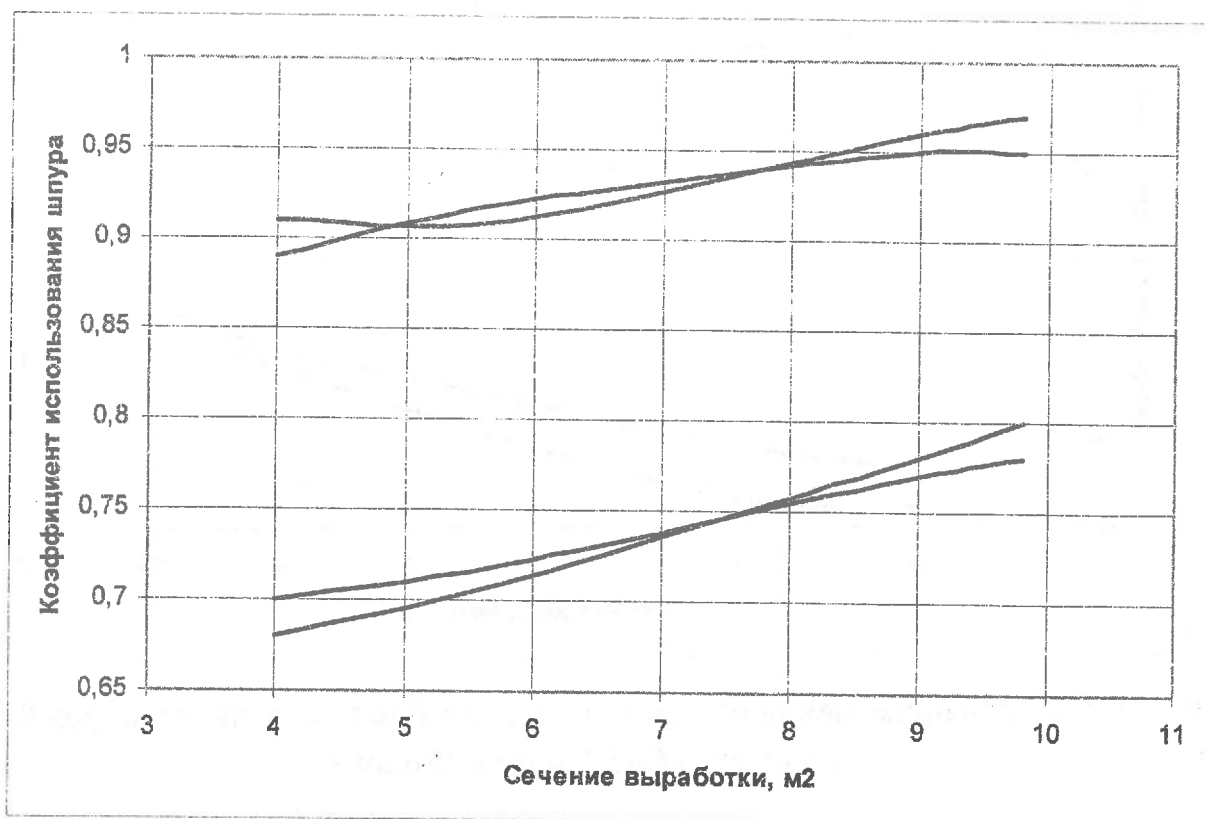


Рис. 3. Область применения различного типа врубов при крепости пород 15-18 по шкале М.М. Протодяконова

Список литературы

1. Хакимжанов Т.Е., Бимагамбетов М.А., Рустемов С.Т. Причины формирования травмоопасных ситуаций при ведении буровзрывных работ на подземных рудниках // Материалы международной научно-практической конференции «ВЗРЫВ-97». – Алматы, 1997.
2. Миндели Э.О. Совершенствование технологии буровзрывных работ. – М.: Недра, 1986.

УДК 539.421.2

Р.Б.Баймахан, А.У.Султанбекова,
С.Абдарсокызы, А.М.Алиева

АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ ТРАНСТРОПНОГО МАССИВА ВОКРУГ ВЫРАБОТКИ ВДОЛЬ И ВКРЕСТ СЛОЕВ ПЛОСКОСТИ ИЗОТРОПИИ

Нами проведены специальные исследования по особенностям моделирования трещины с помощью МКЭ и созданы некоторые собственные программные средства, которые апробированы на тестовой задаче. Для этого выбрана задача Бови /1/, которая имеет аналитическое и конечноэлементное решение, полученное А.А. Сейнасиновой /2/:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi \ell} F(\ell/r) \quad (1)$$

Здесь r – радиус отверстия, ℓ – длина трещины. Данная задача является единственной, которая моделирует трещину, исходящую из контура в подземном сооружении (табл. 1)

Таблица 1

Аналитические значения функции $F(\ell/r)$ для одной щели

ℓ/r	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,0
$F(\ell/r)$	2,73	2,30	2,04	1,86	1,73	1,47	1,37

Приведем алгоритм численного решения КИН1 K_{IC} по прямому методу вычисления по Ирвину:

$$K_I = \sigma_y \sqrt{2\pi/\ell^*} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} + \sin \frac{3\theta}{2}\right),$$

$$K_I = U_x \mu \sigma_y \sqrt{2\pi/\ell^*} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - 2\nu + \sin^2 \frac{\theta}{2}\right), \quad (2)$$

где θ — угол между осью трещины и координатной осью Ox , $\mu = E/2(1+\nu)$ — модуль сдвига, $\ell^* = \ell + r$ (ℓ — длина трещины, r — малое расстояние перед кончиком трещины, которое вычисляется по Ирвину).

Наш опыт применения этих методов показывает, что более надежным в МКЭ оказывается прямое вычисление $K_{I1}(K_I)$ с помощью соотношений (2).

В целях сравнительных оценок удобства применения и точности вычислений вышеупомянутого метода выбрана задача Бови с применением восьмиузловых изопараметрических элементов. Расчетная область содержит для задачи Бови 5832 элемента и 17892 расчетных узлов. Здесь же показаны геометрия и граничные условия задачи. Модуль Юнга $E = 1.0 \cdot 10^4$, МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$.

На рис. 1 приведена расчетная схема задачи Бови о трещине, исходящей из кругового отверстия в бесконечной пластине, подверженной одноосному растяжению (рис. 1, б).

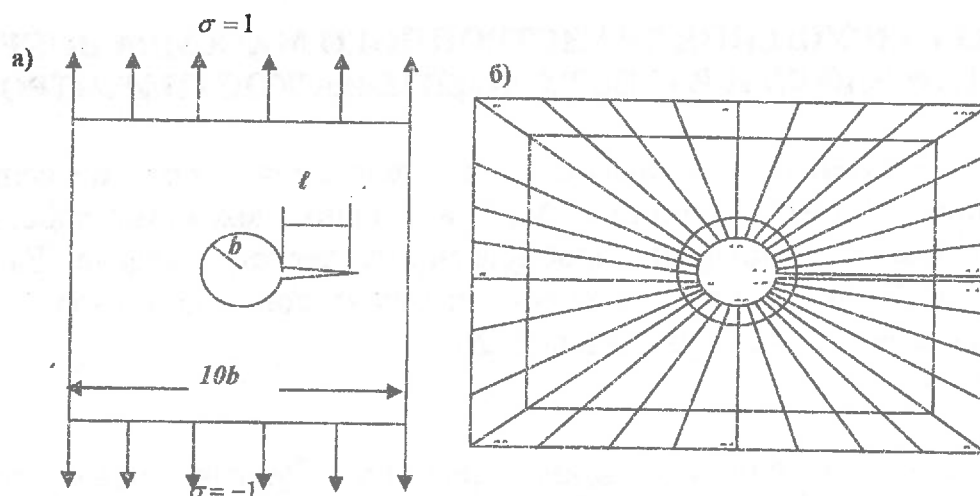


Рис. 1. Расчетная схема для тестирования задачи механики трещин

В табл. 2 приведены значения K_{I1} , полученные аналитическим методом Ирвина, с применением треугольного элемента [2] и с применением восьмиузловых изопараметрических элементов автором настоящей работы.

Таким образом, зная преимущества и недостатки того или другого подхода в МКЭ, можно умело их использовать при расчетах задач механики разрушения.

Таблица 2

Вычисленные значения КИН1 аналитическим методом по формуле (2) и по МКЭ с применением элементов в форме треугольника и восьмиугольного изопараметрического четырехугольника для трещины на контуре кругового отверстия

№	ℓ/r	Аналитическое решение (Дж. Ирвин)	Треугольник (А.А. Сейнасинова)	Четырехугольник (Настоящая работа)
			по σ_y	по σ_y
1	0,10	1,52	1,51	1,52
2	0,20	1,82	1,82	1,81
3	0,30	1,98	1,97	1,96
4	0,40	2,05	2,06	2,04
5	0,50	2,16	2,16	2,15
6	0,80	2,32	2,33	2,31
7	1,00	2,42	2,44	2,43

Многочисленные данные наблюдений и натурных измерений параметров трещин вокруг контура горных выработок показывают, что их тип, характер и линейные размеры меняются в широком диапазоне. Пожалуй, такие наиболее полные систематизированные, классифицированные по трем порядкам с указанием ориентировок протяженности и степени раскрытия трещин в горных породах имеются в работе /3/ (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика пород по трещиноватости

Порядок	Характеристика и генезис трещин	Протяженность трещины, м	Раскрытие, м	Расстояние между трещинами, м	Преимущественное ориентирование
Первый	Внутрикристаллические вакансии, дислокации, полости	$10^{-9}-10^{-2}$ ($10^{-6}-10$ мм)	$10^{-9}-10^{-5}$ ($10^{-6}-10^{-2}$ мм)	$10^{-8}-10^{-9}$ ($10^{-5}-10^{-6}$ мм)	Беспорядочное
Второй	Межкристаллические трещины между кристаллами, трещины в цементе	$10^{-4}-10^{-2}$ ($10^{-1}-10$ мм)	$10^{-6}-10^{-3}$ ($10^{-3}-10^0$ мм)	$10^{-5}-10^{-2}$ ($10^{-2}-10$ мм)	Беспорядочное, за исключением сланцеватых пород
	Эндогенные (разрыв)				

	Трещины остывания и усыхания	$10^{-1}-10^0$ (10^2- 10^3 мм)	$10^{-5}-10^{-3}$ ($10^{-2}-$ 10^0 мм)	$10^{-1}-10^0$ (10^2- 10^3 мм)	Перпенди- кулярно к напласто- ванию
	Трещины накопления осадков	$10^{-1}-10^3$ (10^2- 10^6 мм)	$10^{-6}-10^{-4}$ ($10^{-3}-10^{-$ 1 мм)	$10^{-1}-10^0$ (10^2- 10^3 мм)	Параллельно напласто- ванию
Третий	Трещины выветривания	10^0-10^2 (10^3-10^5)	$10^{-3}-10^{-1}$ (10^0-10^2)	$10^{-1}-10^0$ (10^2-10^3)	Параллель- но обнаже- нию
		$10^{-1}-10^{-2}$ (10^2-10^1)	$10^{-5}-10^{-1}$ ($10^{-2}-10^2$)	$10^{-2}-10^0$ (10^1-10^3)	По первичным трещинам

Анализируя данные табл. 3 /3/, заметим, что, во-первых, длины и ширины раскрытия трещины меняются от микрона до километров и, во-вторых, в зависимости от характеристик и генезиса они распространяются в некоторых породах беспорядочно, или перпендикулярно, или параллельно напластованию, то есть плоскости изотропии, когда массив является слоистым.

Эти данные необходимы для сравнения полученных нами новых результатов определения закономерностей распространения трещин раздробленных в горизонтально-слоистом транстропном массиве.

Изложим адаптированный алгоритм применения критерия разрушения Казагранде-Каррилло применительно к направлению распространения трещины между направлениями вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии (ϕ'), который показан на рис. 2.

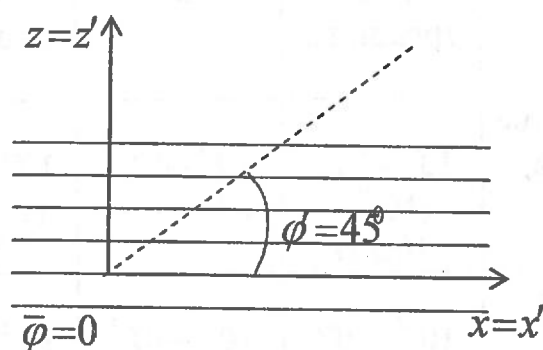


Рис. 2. ϕ' – угол между направлениями вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии

Для угла ϕ' , определяющего площадку скольжения, прочности горных

пород для транстропного массива по критерию Казагранде-Каррилло запишем применительно к условиям данной задачи в виде /4/

$$\tau_{\varphi'} = \tau_{\max, \perp} + (\tau_{\max, \parallel} - \tau_{\max, \perp}) \cos^2 \varphi', \quad (3)$$

где $\tau_{\max, \parallel}, \tau_{\max, \perp}$ — экспериментально определяемые критические значения горных пород слоистого строения, где $0 \leq \varphi' \leq 90^\circ$.

Проведены расчеты для глубин заложения выработки от 100 метров земной поверхности до 1000 м вниз в вертикальном направлении с шагом 100 м. Анализ результатов показывает, что до глубины 400 метров, хотя вокруг контура выработки появляются концентрации напряжений, пластические зоны, но зоны обрушения не возникают (табл. 4).

На глубине 400 метров далеко от контура в области свода только в двух элементах появлялись мелкие трещины в направлении вкрест к плоскости изотропии горизонтально слоистого угольного пласта. Начиная с глубин 500 метров уже появляется заметное количество раздробленных пород.

Сравнение с данными табл. 3 еще раз подтверждает достоверность полученных нами результатов.

Из-за того, что механизм образования раздробления пород вокруг выработки в угольном пласте горизонтально слоистого строения слишком сложен, покажем их в отдельности в направлениях вдоль, вкрест слоев и между ними.

В соответствии с обобщенными для анизотропной среды алгоритмами вычислены длины и ширины раскрытия трещин. Но из-за сложности представления в виде картин их значения отдельно вынесены в табл. 4.

Поэтому на нижних рисунках показаны механизмы трещинообразования в направлениях вдоль, вкрест к плоскостям изотропии слоев и под углом.

На глубине 500 метров разрушения угольного пласта (размеры пласта 20х20 м) в перпендикулярном направлении начинаются висячей области кровли далеко от контура выработки в направления вкрест к плоскостям изотропии (рис. 3, а). В то же время в этих зонах трещины распространяются и вдоль слоев (рис. 3, б).

Таблица 4

Значения длины и ширины трещин, распространяющихся вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии угольного пласта, размером 6х6м вокруг контура незакрепленной выработки при геостатической нагрузке

Номера элемен- тов	Трещина II слоям		Номера элемен- тов	Трещина ⊥ слоям		Номера элемен- тов	Трещина под углом $\varphi' = 45^{\circ}$	
Параметры трещины								
	Гориз длина, см	Гориз. ширина, см		Ширина см	Длина, См		длина, см	ширина,см
				Верт	Верт			

500м								
236	9,26	8,52	1484	1,14	5,53	146	0,91	3,71
290	8,29	6,82	312	1,68	8,12	155	1,45	5,81
311	7,38	5,41	344	1,91	9,26	171	2,31	7,77
1496	6,30	3,95	362	2,00	9,66	188	4,51	8,68
1537	5,02	2,51	1513	2,08	10,04	213	7,92	9,41
1372	30	1,36	1322	2,15	10,42	254	8,11	10,38
1000м								
1533	3,33	1,10	99	1,70	13,72	994	0.40	4,66
1424	5,24	2,73	297	1,84	18,64	1370	1.26	14,73
967	6,35	3,01	230	1,90	20,30	1008	1.74	15,71
216	7,08	3,98	145	1,98	21,12	1022	5.25	18,03
178	8,93	4,93	132	2,05	21,85	1036	11.40	20,05
166	9,17	5,35	108	2,15	22,01	1050	20.99	21,15

На рис. 3, в показано направление распространения трещины под углом $\varphi' = 45^\circ$. Характерное трещинообразование под углом наблюдается в висячих областях свода.

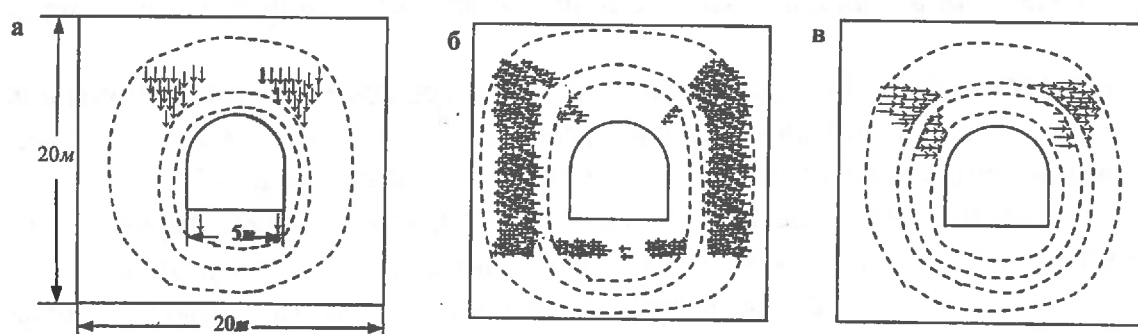


Рис. 3. Механизм трещинообразования вокруг контура незакрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20х20 м от сдвигающих напряжений:

а – перпендикулярно слоям (вкрест); б – параллельно слоям (вдоль); в – под углом $\varphi' = 45^\circ$

С помощью разработанных критериев и алгоритма выяснены некоторые механизмы трещинообразования вокруг контура незакрепленной горной выработки, находящегося в транстропном массиве неоднородного строения.

Список литературы

1. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений / Под ред. Ю. Муракаш. – Т.2. – М.: Мир, 1990. – С. 450-1014.
2. Сейсинова А.А. Анализ некоторых решений тестовых задач

механики разрушения методом конечных элементов // Труды межд. конф «Современные проблемы механики». – Алматы, 2001. – С. 213-216.

3. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.

4. Casagrande A., Corrillo N. Shear failure of anisotropic materials. J. Boston Soc. Civ. Eng., 1944, №31, p. 74-87.

УДК 519.6:539.3

Ш.Мамаев

РАСЧЕТ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ТЕЛАХ, ОГРАНИЧЕННЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ МЕТОДОМ БИХАРАКТЕРИСТИК

При расчете волновых полей в призматических телах, ограниченных криволинейными поверхностями, приходится рассматривать граничные поверхности тела, не совпадающие в физическом пространстве с координатными (линиями) плоскостями. Для конечно-разностных методов это приводит к тому, что при постановке граничных условий требуется применять сложную интерполяцию на линии локальной сетки, из-за чего происходит локальная потеря точности численного решения. Применяя примитивное преобразование, физическая область отображается в вычислительную область, границы которой совпадают с координатными плоскостями в новой системе координат. В данной работе метод бихарактеристик применен к расчету нестационарных полей напряжений и скоростей частиц в призматических телах, ограниченных криволинейными поверхностями.

Основные уравнения. Процесс распространения динамических возмущений в изотропной линейной упругой среде описывается системой линейных уравнений в частных производных гиперболического типа

$$\begin{cases} \partial V_\alpha / \partial t - \sigma_{\alpha i, i} = 0, \\ \partial \sigma_{\alpha\beta} / \partial t - \lambda V_{i, i} \cdot \delta_{\alpha\beta} - \mu (V_{\alpha, \beta} + V_{\beta, \alpha}) = 0, \quad (\alpha, \beta, i = 1, 2, 3) \end{cases} \quad (1)$$

Здесь λ, μ – постоянные Ламе, запятая перед индексом означает дифференцирование по соответствующей переменной, $\delta_{\alpha\beta}$ – символы Кронекера. По повторяющимся латинским индексам производится суммирование от 1 до 3. Безразмерные компоненты вектора скорости V_α , тензора напряжений $\sigma_{\alpha\beta}$, время t и декартовы координаты x_α определяются

через соответствующие размерные величины:

$$\overline{x_\alpha} = \frac{\overline{x_\alpha}}{l}, \quad \overline{t} = \frac{\overline{t \cdot c_1}}{l}, \quad \overline{\sigma_{\alpha\beta}} = \frac{\overline{\sigma_{\alpha\beta}}}{\rho \overline{c_1^2}}, \quad \overline{V_\alpha} = \frac{\overline{V_\alpha}}{c_1}, \quad \overline{c_1} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}, \quad (2)$$

где черта над переменной означает размерную величину, l – характерная длина, c_1 – скорость распространения продольной волны, ρ – плотность среды.

Постановка задачи. Рассматривается трехмерное тело, занимающее область $D = \{0 \leq x_1 \leq a, \dots, 0 \leq x_2 \leq b, \dots, 0 \leq x_3 \leq f(x_2)\}$, которое в начальный момент времени $t = 0$ находится в состоянии покоя

$$\sigma_{ij} = 0, \quad V_i = 0 \quad \text{при } t = 0. \quad (3)$$

В любой другой момент времени $t > 0$ на грани $x_2 = 0$ действует равномерно распределенная нестационарная нагрузка

$$\sigma_{22} = f(t), \quad \sigma_{21} = \sigma_{23} = 0 \quad \text{при } x_2 = 0. \quad (4)$$

Грань $x_2 = b$ жестко закреплена

$$V_1 = V_2 = V_3 = 0 \quad \text{при } x_2 = b. \quad (5)$$

Остальные грани свободны от какого-либо воздействия, т.е. $\sigma_{ij} n_j = 0$ (n_j – компоненты единичного вектора внешней нормали к поверхности)

$$\sigma_{11} = 0, \quad \sigma_{12} = \sigma_{13} = 0 \quad \text{где } x_1 = 0, a, \quad (6)$$

$$\sigma_{33} = 0, \quad \sigma_{31} = \sigma_{32} = 0 \quad \text{где } x_3 = 0. \quad (7)$$

На поверхности $x_3 = f(x_2)$ вектор полного напряжения $\vec{P}_v(P_1, P_2, P_3)$ имеет составляющие по осям x_1, x_2, x_3 соответственно P_1, P_2, P_3

$$P_1 = 0, \quad P_2 = 0, \quad P_3 = 0 \quad \text{где } x_3 = f(x_2) \quad (8)$$

т.е. элемент поверхности ds , нормаль к которому $\vec{v}$, можно рассматривать как косую площадку и условие на этой поверхности (8) можно записать в виде

$$\begin{aligned} \sigma_{11}l + \sigma_{12}m + \sigma_{13}h &= P_1, \\ \sigma_{21}l + \sigma_{22}m + \sigma_{23}h &= P_2, \\ \sigma_{31}l + \sigma_{32}m + \sigma_{33}h &= P_3. \end{aligned} \quad (8^1)$$

$l = \cos \alpha$, $m = \cos \beta$, $n = \cos \gamma$ – направляющие косинусы нормального вектора $\vec{v}$ к поверхности $x_3 = f(x_2)$, α, β, γ – углы, составляемые нормальным вектором $\vec{v}$ с координатными осями x_1, x_2, x_3 .

Задача заключается в определении нестационарных полей напряжения и скоростей частиц тела, вызванных внешним динамическим воздействием.

Задача решается численно методом бихарактеристик. Переходя к новым координатам

$$\overline{x_1} = x_1, \quad \overline{x_2} = x_2, \quad \overline{x_3} = x_3 / h(x_2), \quad (9)$$

отобразим физическую область в вычислительную область в виде прямоугольного параллелепипеда [1]. Исходная система дифференциальных уравнений (1) с частными производными при переходе от физических координат к координатам в вычислительной области преобразуется при

помощи правила дифференцирования сложной функций

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x_1} = \frac{\partial}{\partial x_1}, \\ \frac{\partial}{\partial x_2} = \frac{\partial}{\partial x_2} - x_3 \cdot \frac{h'(x_2)}{h(x_2)} \cdot \frac{\partial}{\partial x_3}, \\ \frac{\partial}{\partial x_3} = \frac{1}{h(x_2)} \cdot \frac{\partial}{\partial x_3}, \end{cases} \quad (10)$$

$h(x_2)$ – расстояние между поверхностями $x_3 = 0, x_3 = f(x_2)$ при $x_1 = \text{const}, x_2 = \text{const}$.

Тогда преобразованная система уравнений (1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_1}{\partial t} - \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} - \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} - g_{23} \cdot \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_3} - g_{33} \frac{\partial \sigma_{13}}{\partial x_3} &= 0, \\ \frac{\partial V_2}{\partial t} - \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} - \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} - g_{23} \cdot \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_3} - g_{33} \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial x_3} &= 0, \\ \frac{\partial V_3}{\partial t} - \frac{\partial \sigma_{31}}{\partial x_1} - \frac{\partial \sigma_{32}}{\partial x_2} - g_{23} \cdot \frac{\partial \sigma_{32}}{\partial x_3} - g_{33} \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial x_3} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial t} - a_{11} \frac{\partial V_1}{\partial x_1} - a_{12} \frac{\partial V_2}{\partial x_2} - a'_{12} \frac{\partial V_2}{\partial x_3} - a_{13}'' \frac{\partial V_3}{\partial x_3} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial t} - a_{21} \frac{\partial V_1}{\partial x_1} - a_{22} \frac{\partial V_2}{\partial x_2} - a'_{22} \frac{\partial V_2}{\partial x_3} - a_{23}'' \frac{\partial V_3}{\partial x_3} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial t} - a_{31} \frac{\partial V_1}{\partial x_1} - a_{32} \frac{\partial V_2}{\partial x_2} - a'_{32} \frac{\partial V_2}{\partial x_3} - a_{33}'' \frac{\partial V_3}{\partial x_3} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial t} - a_{44} \cdot \frac{\partial V_1}{\partial x_2} - a_{44}' \cdot \frac{\partial V_1}{\partial x_3} - a_{44} \cdot \frac{\partial V_2}{\partial x_1} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial t} - a_{55}'' \cdot \frac{\partial V_2}{\partial x_3} - a_{55} \cdot \frac{\partial V_3}{\partial x_2} - a_{55}' \cdot \frac{\partial V_3}{\partial x_3} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{31}}{\partial t} - a_{66}'' \cdot \frac{\partial V_1}{\partial x_3} - a_{66} \cdot \frac{\partial V_3}{\partial x_1} &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь $g_{23} = -x_3 \cdot \frac{h'(x_2)}{h(x_2)}, g_{33} = \frac{1}{h(x_2)}$ – метрические коэффициенты, в декартовых

прямоугольных координатах $g_{23} = 0, g_{33} = 1$,

$$a_{ij} = \begin{cases} \lambda + 2\mu \dots \text{при} \dots i \leq 3, \dots i = j, \\ \mu \dots \text{при} \dots i > 3, \dots i = j, \\ \lambda \dots \text{при} \dots i \neq j, \end{cases}$$

$$a'_{ij} = a_{ij} \cdot g_{23}, \quad a''_{ij} = a_{ij} \cdot g_{33}.$$

В системе уравнений (11) появляются дополнительные члены, коэффициенты которых зависят от координаты x_2, x_3 определяющие отображение физической области на вычислительную область. Система (11) девяти уравнений в частных производных первого порядка относительно $V_i, \sigma_{ij} (i, j = \overline{1,3})$ принадлежит гиперболическим системам.

Физическая область отображается в прямоугольную вычислительную область в форме прямоугольного параллелепипеда. Задача решается в вычислительной области. При переходе в вычислительную область граничные условия (4-7) не изменяются, т.е.

$$\sigma_{22}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; t) = (t), \sigma_{21}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; t) = \sigma_{23}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; t) = 0 \text{ при } \bar{x}_2 = 0, \quad (4^1)$$

$$V_1 = V_2 = V_3(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; t) = 0 \text{ при } \bar{x}_2 = b, \quad (5^1)$$

$$\sigma_{11} = \sigma_{12} = \sigma_{13}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; t) = 0 \text{ при } \bar{x}_1 = 0, a, \quad (6^1)$$

$$\sigma_{33}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; t) = 0, \sigma_{31}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; t) = \sigma_{32}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3; t) = 0 \text{ при } \bar{x}_3 = 0. \quad (7^1)$$

Грань $x_3 = f(x_2)$ преобразуется в плоскость $\bar{x}_3 = 1$, тогда условие (8) преобразуется

$$\begin{aligned} \sigma_{11}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)l^1 + \sigma_{12}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)m^1 + \sigma_{13}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)n^1 &= P_1(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t), \\ \sigma_{21}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)l^1 + \sigma_{22}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)m^1 + \sigma_{23}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)n^1 &= P_2(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t), \text{ при } \bar{x}_3 = 1 \\ \sigma_{31}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)l^1 + \sigma_{32}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)m^1 + \sigma_{33}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t)n^1 &= P_3(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t). \end{aligned} \quad (8^1)$$

где

$$l^1 = \cos \alpha^1, m^1 = \cos \beta^1, n^1 = \cos \gamma^1, \alpha^1 = (\bar{x}_1, \bar{v}^1) = \pi/2, \beta^1 = (\bar{x}_2, \bar{v}^1) = \pi/2, \gamma^1 = (\bar{x}_3, \bar{v}^1) = 0 \quad (*)$$

$\bar{v}^1$ — нормальный вектор плоскости $\bar{x}_3 = 1$ совпадает с направлением оси $\bar{x}_3$.

Если учитывать условие (*) то из условия (8¹) получим ($l^1=0, m^1=0, n^1=1$)

$$\sigma_{13}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t) = P_1, \sigma_{23}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t) = P_2, \sigma_{33}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, t) = P_3 \quad (8^2)$$

В дальнейшем задача решается при граничных условиях (4¹, 5¹, 6¹, 7¹, 8²).

Расщепление многомерных систем на одномерные. Бихарактеристики и условия на них. Следуя работе [2], поочередно зафиксировав два из трех пространственных переменных, расщепляем систему (11) на одномерные, зависящие от двух независимых переменных x_i, t

$$x_2 = const, \dots, x_3 = const$$

$$1) \begin{cases} V_{1,t} - \sigma_{11,1} = \sigma_{12,2} + g_{23}\sigma_{12,3} + g_{33}\sigma_{13,3}, \\ \sigma_{11,t} - a_{11}V_{1,1} = a_{12}V_{2,2} + a'_{12}V_{2,3} + a''_{13}V_{3,3}. \end{cases}$$

$$2) \begin{cases} V_{2,t} - \sigma_{21,1} = \sigma_{22,2} + g_{23}\sigma_{22,3} + g_{33}\sigma_{23,3}, \\ \sigma_{21,t} - a_{44}V_{2,1} = a_{44}V_{1,2} + a'_{44}V_{1,3}. \end{cases}$$

$$3) \begin{cases} V_{3,t} - \sigma_{31,1} = \sigma_{32,2} + g_{23}\sigma_{32,3} + g_{33}\sigma_{33,3}, \\ \sigma_{31,t} - a_{66}V_{3,1} = a''_{66}V_{1,3}. \end{cases}$$

$$x_3 = const, \dots, x_1 = const$$

$$4) \begin{cases} V_{1,i} - (\sigma_{12,2} + g_{23} \sigma_{12,3}) = \sigma_{11,i} + g_{33} \sigma_{12,3}, \\ \sigma_{12,i} - a_{44} (V_{1,2} + g_{23} V_{1,3}) = a_{44} V_{2,i}. \end{cases}$$

$$5) \begin{cases} V_{2,i} - (\sigma_{22,2} + g_{23} \sigma_{22,3}) = \sigma_{21,i} + g_{23} \sigma_{22,3}, \\ \sigma_{22,i} - a_{22} (V_{2,2} + g_{23} V_{2,3}) = a_{21} V_{1,i} + a_{23}'' V_{3,3}. \end{cases}$$

$$6) \begin{cases} V_{3,i} - (\sigma_{32,2} + g_{23} \sigma_{32,3}) = \sigma_{31,i} + g_{33} \sigma_{33,3}, \\ \sigma_{32,i} - a_{55} (V_{3,2} + g_{23} V_{3,3}) = a_{55}'' V_{2,3}. \end{cases}$$

$$x_1 = const, \dots, x_2 = const.$$

$$7) \begin{cases} V_{1,i} - g_{33} \sigma_{13,3} = \sigma_{11,i} + \sigma_{12,2} + g_{23} \sigma_{12,3}, \\ \sigma_{13,i} - a_{66}'' V_{1,3} = a_{66} V_{3,i}. \end{cases}$$

$$8) \begin{cases} V_{2,i} - g_{33} \sigma_{23,3} = \sigma_{21,i} + \sigma_{22,2} + g_{23} \sigma_{22,3}, \\ \sigma_{23,i} - a_{55}'' V_{2,3} = a_{55} V_{3,2} + a_{55}' V_{3,3}. \end{cases}$$

$$9) \begin{cases} V_{3,i} - g_{33} \sigma_{33,3} = \sigma_{31,i} + \sigma_{32,2} + g_{23} \sigma_{32,3}, \\ \sigma_{33,i} - a_{33}'' V_{3,3} = a_{31} V_{1,i} + a_{32} V_{2,2} + a_{32}' V_{2,3}. \end{cases}$$

В дальнейшем правые части расщепленных систем уравнений обозначены соответственно $a_i^{(j)}, b_{ij}^{(j)}, \dots (i, j = \overline{1,3})$. Верхний индекс j показывает направление расщепления, нижний индекс i показывает номер переменной V_i .

В расщеплении по направлению x_2 в левой части уравнения, в скобках содержатся производные, связанные с этим направлением, второе слагаемое которых в декартовых прямоугольных координатах обращается в нуль. В расщеплении по направлению x_3 эти производные переведены в правую часть уравнения, т.к. коэффициент $g_{23} < 1$, то операторы $g_{23} \sigma_{ij,3}$, $g_{23} V_{i,3}$ учитываются как поправочные, а это дает удобную конструкцию численного алгоритма в данном расщеплении.

Производные функции в направлении бихарактеристик в старых координатах определяется соотношением

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot \frac{dx_1}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x_2} \cdot \frac{dx_2}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x_3} \cdot \frac{dx_3}{dt}$$

Учитывая формулу дифференцирования (10) в новых координатах, это производное определяется соотношением

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_1} \cdot \frac{d\bar{x}_1}{dt} + \left(\frac{\partial}{\partial x_2} + g_{23} \frac{\partial}{\partial x_3} \right) \frac{d\bar{x}_2}{dt} + \frac{\partial}{\partial x_3} \cdot \frac{d\bar{x}_3}{dt} \dots m.k. \dots \frac{dh(x_2)}{dt} = 0 \\
\frac{\partial}{\partial t} &= \frac{d}{dt} - \frac{\partial}{\partial x_3} \cdot \frac{d\bar{x}_3}{dt} \dots \dots \dots \text{если} \dots x_1 = x_2 = const \\
\frac{\partial}{\partial t} &= \frac{d}{dt} - \frac{\partial}{\partial x_1} \cdot \frac{d\bar{x}_1}{dt} \dots \dots \dots \text{если} \dots x_2 = x_3 = const \\
\frac{\partial}{\partial t} &= \frac{d}{dt} - \left(\frac{\partial}{\partial x_2} + g_{23} \cdot \frac{\partial}{\partial x_3} \right) \cdot \frac{d\bar{x}_2}{dt} \dots \dots \dots \text{если} \dots x_3 = x_1 = const.
\end{aligned}
\tag{12}$$

Используя формулу (12), исключив частные производные по t , расщепленные системы можно приводить к виду. Например, при $x_1 = const, \dots, x_3 = const$

$$\begin{cases} -\frac{dx_2}{dt}(V_{1,2} + g_{23} \cdot V_{1,3}) - (\sigma_{12,2} + g_{23}\sigma_{12,3}) = d_1^{(2)} - \frac{dV_1}{dt}, \\ -a_{44}(V_{1,2} + g_{23}V_{1,3}) - \frac{dx}{dt}(\sigma_{12,2} + g_{23} \cdot \sigma_{12,3}) = b_{12}^{(2)}. \end{cases}
\tag{13}$$

Данное уравнение имеет две действительных бихарактеристик, вдоль которых выполняются следующие дифференциальные соотношения

$$\frac{dx_2}{dt} = \pm \sqrt{a_{44}}, \quad d\sigma_{12} \mp \sqrt{a_{44}} dV_1 = (b_{12}^{[2]} \mp \sqrt{a_{44}} d_1^{(2)}) dt.
\tag{14}$$

Аналогичным образом определяются бихарактеристики и условия на них в других направлениях. В каждой из трех плоскостей $\{x_\alpha, t\}$ имеется по три семейства бихарактеристик (два из них совпадают). Конечно-разностные уравнения. Численное решение задачи отыскивается на слоях, ограниченных гиперплоскостями $t = const$ в четырехмерном пространстве (x_α, t) . Для проведения численных расчетов вычислительная область, разбивается плоскостями $x_\alpha = const$ на элементарные прямоугольные параллелепипеды. Точки пересечения плоскостей $x_\alpha = const$ являются узловыми точками, которые определяются числами (n_1, n_2, n_3, k) , где $x_\alpha = n_\alpha h_\alpha$, $t = k\tau$, h_α — шаг по пространственной переменной, τ — шаг по времени. Точечные схемы, на основе которых строится разностная схема, помимо упомянутых узловых точек содержат точки, образованные пересечением бихарактеристик с гиперплоскостями $t = k\tau$. Искомые функций в узловой точке A на $k+1$ -ом слое по времени находятся через их известные значения на k -м слое по времени.

Интегрируя дифференциальные соотношения вдоль соответствующих бихарактеристик и исключив из них $\sigma_{\alpha\beta}, V_\alpha$, получим систему уравнений для определения частных производных $\sigma_{\alpha\beta, \beta}, V_{\alpha, \beta}$ на верхнем $k+1$ -м слое по времени.

$$a_{44}(V_{1,2} + g_{23}V_{1,3}) \mp \sqrt{a_{44}}(\sigma_{12,2} + g_{23}\sigma_{12,3}) = b_{12}^{(2)\pm} - b_{12}^0 \mp \sqrt{a_{44}}(d_1^{(2)\pm} - d_1^0) + \frac{2}{\tau}[\sigma_{12}^{(2)\pm} - \sigma_{12}^0 \mp \sqrt{a_{44}}(V_1^{(2)\pm} - V_1^0)] \quad (15)$$

В правой части уравнения содержатся величины из нижнего слоя по времени, значком "0" обозначены величины переменной в узловой точке, а "±" обозначены значения в точке пересечения бихарактеристик с гиперплоскостью $t = k\tau$ (с плоскостью начальных данных), которые определяем по формуле Тейлора с точностью первого и второго порядка, соответственно и формулу для определения производных приведем к виду

$$\sqrt{a_{44}}(V_{1,2} + g_{23}V_{1,3}) \mp (\sigma_{12,2} + g_{23}\sigma_{12,3}) = \sqrt{a_{44}}[(V_{1,2}^0 - g_{23}V_{1,3}^0) + \tau(\sigma_{11,12} + \sigma_{12,22} + g_{33}\sigma_{13,32})^0] \mp [\sigma_{12,2}^0 - g_{23}\sigma_{12,3}^0] + \tau a_{44}(V_{1,22} + V_{2,12})^0 \quad (16)$$

Таких уравнений во внутренних точках области в трех направлениях будет 18, которые приведены ниже

$$\begin{cases} \sqrt{a_{11}}V_{1,1} \mp \sigma_{11,1} = F_{1,2}, \\ \sqrt{a_{44}}V_{2,1} \mp \sigma_{12,1} = F_{3,4}, \\ \sqrt{a_{66}}V_{3,1} \mp \sigma_{13,1} = F_{5,6}, \\ \sqrt{a_{44}}(V_{1,2} + g_{23} \cdot V_{1,3}) \mp (\sigma_{12,2} + g_{23} \cdot \sigma_{12,3}) = F_{7,8}, \\ \sqrt{a_{22}}(V_{2,2} + g_{23} \cdot V_{2,3}) \mp (\sigma_{22,2} + g_{23} \cdot \sigma_{22,3}) = F_{9,10}, \\ \sqrt{a_{55}}(V_{3,2} + g_{23}V_{3,3}) \mp (\sigma_{23,2} + g_{23}\sigma_{23,3}) = F_{11,12}, \\ \sqrt{a_{66}}V_{1,3} \mp \sigma_{13,3} = F_{13,14}, \\ \sqrt{a_{55}}V_{2,3} \mp \sigma_{23,3} = F_{15,16}, \\ \sqrt{a_{33}}V_{3,3} \mp \sigma_{33,3} = F_{17,18}. \end{cases} \quad (17)$$

Правые части которых представляются в виде

$$\begin{aligned} F_{1,2} &= \sqrt{a_{11}}[V_{1,1}^0 + \tau(\sigma_{11,11} + \sigma_{12,21} + g_{23}\sigma_{12,31} + g_{33}\sigma_{13,31})^0] \mp [\sigma_{11,1}^0 + \tau(a_{11}V_{1,11} + a_{12}V_{2,21} + a'_{12}V_{2,31} + a''_{13}V_{3,31})^0], \\ F_{3,4} &= \sqrt{a_{44}}[V_{2,1}^0 + \tau(\sigma_{12,11} + \sigma_{22,21} + g_{23}\sigma_{22,31} + g_{33}\sigma_{23,31})^0] \mp [\sigma_{12,1}^0 + \tau(a_{44}V_{2,11} + a_{44}V_{1,21} + a'_{44}V_{1,31})^0], \\ F_{5,6} &= \sqrt{a_{66}}[V_{3,1}^0 + \tau(\sigma_{13,11} + \sigma_{23,21} + g_{23}\sigma_{23,31} + g_{33}\sigma_{33,31})^0] \mp [\sigma_{13,1}^0 + \tau(a_{66}V_{3,11} + a''_{66}V_{1,31})^0], \\ F_{7,8} &= \sqrt{a_{44}}[(V_{1,2}^0 - g_{23}V_{1,3}^0) + \tau(\sigma_{11,12} + \sigma_{12,22} + g_{33}\sigma_{13,32})^0] \mp [(\sigma_{12,2}^0 - g_{23}\sigma_{12,3}^0) + \tau a_{44}(V_{1,22} + V_{2,12})^0], \\ F_{9,10} &= \sqrt{a_{22}}[(V_{2,2}^0 - g_{23}V_{2,3}^0) + \tau(\sigma_{22,22} + \sigma_{12,12} + g_{33}\sigma_{23,32})^0] \mp [(\sigma_{22,2}^0 - g_{23}\sigma_{23,3}^0) + \tau(a_{22}V_{2,22} + a_{21}V_{1,12} + a'_{23}V_{3,32})^0], \\ F_{11,12} &= \sqrt{a_{55}}[(V_{3,2}^0 - g_{23}V_{3,3}^0) + \tau(\sigma_{23,22} + \sigma_{13,12} + g_{33}\sigma_{33,32})^0] \mp [(\sigma_{23,2}^0 - g_{23}\sigma_{23,3}^0) + \tau a_{55}(V_{3,22} + g_{33}V_{2,32})^0], \\ F_{13,14} &= \sqrt{a_{66}}[V_{1,3}^0 + \tau(\sigma_{11,13} + \sigma_{12,23} + g_{23}\sigma_{12,33} + g_{33}\sigma_{13,33})^0] \mp [\sigma_{13,3}^0 + \tau a_{66}(g_{33}V_{1,33} + V_{3,13})^0], \\ F_{15,16} &= \sqrt{a_{55}}[V_{2,3}^0 + \tau(\sigma_{12,13} + \sigma_{22,23} + g_{23}\sigma_{22,33} + g_{33}\sigma_{23,33})^0] \mp [\sigma_{23,3}^0 + \tau a_{55}(g_{33}V_{2,33} + V_{3,23} + g_{23}V_{3,33})^0], \\ F_{17,18} &= \sqrt{a_{33}}[V_{3,3}^0 + \tau(\sigma_{31,13} + \sigma_{32,23} + g_{23}\sigma_{32,33} + g_{33}\sigma_{33,33})^0] \mp [\sigma_{33,3}^0 + \tau(a_{31}V_{1,13} + a_{32}V_{2,23} + a'_{32}V_{2,33} + a''_{33}V_{3,33})^0]. \end{aligned}$$

Интегрируя систему уравнений (11) по времени t , подставляя найденные значения производных, находим значения искомых переменных в

рассматриваемой узловой точке.

Особенностью расчета точек граничных поверхностей является то, что некоторые бихарактеристики проходят вне рассматриваемой области и пересекают плоскости начальных данных $t = k\tau$ в точках, которые не принадлежат исследуемой области и её границе. Следовательно, из системы уравнений (17) исключаются три уравнения, соответствующие этим трем бихарактеристикам. Взамен этим трем уравнениям, на граничной поверхности $x_i = \text{const}$ ($i = 1, 2, 3$) задаются три граничные условия.

При расчете ребер, образованных пересечением двух граничных поверхностей, должна выполняться совокупность условий, заданной на этих поверхностях. В этих точках шесть бихарактеристик выходят из рассматриваемой области. Поэтому из системы уравнений (17) исключается шесть уравнений. Взамен исключенных уравнений задается шесть условий на двух граничных поверхностях. Часто граничные условия задаются напряжениями. В этих случаях из-за парности касательных напряжений два из заданных граничных условий являются линейно зависимыми и число заданных условий становится на единицу меньше. Некоторые производные могут быть вычислены дифференцированием граничных функций [2] и тем самым можно получить замкнутую систему.

Расчет трехгранных углов производится аналогично.

На этом заканчивается процесс построения расчетных формул $k+1$ -м слое по времени. Полученный численный алгоритм может быть использован для исследования волновых процессов в телах с ограниченными криволинейными поверхностями.

Список литературы

1. Андерсен Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. – М.: Мир, 1990. – Т.1. – 392с.
2. Тарабрин Г.Т. Численное решение нестационарных задач динамики анизотропной упругой среды // Известия АН СССР. МТТ. – 1982. – № 2. – С. 83-95.

УДК 531

Б.Жумабаев, Ж.Качкын кызы

ПОСТРОЕНИЕ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ОДНОСВЯЗНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Рассматриваются конечные и полубесконечные односвязные области, контуры которых являются гладкими кривыми, не имеющими точек ветвления и самопересечения. Ранее в работах Н.И. Мусхелишвили [1] и Б.Жумабаева [2] отображения осуществлялось по более трудоемкой методике. В этой работе задача прямого и обратного отображения на отдельных простых примерах

реализована в рамках программной среды Mathcad /3/.

1. Вариация контура в локальной зоне вершины параболы. Контур внешности параболы задан параметрическими уравнениями:

$$x(\xi) = \alpha \cdot \xi \quad y(\xi) = \xi^2 \quad -\infty \leq \xi \leq \infty \quad (1)$$

Вводим комплексную переменную $\zeta(\xi, \eta) := \xi + i\eta$ и некоторые параметров (постоянные) отображающих функций:

$$i := \sqrt{-1} \quad \alpha := 0.12 \quad \alpha 1 := 0.5 \quad \beta 1 := 0 \quad a 0 := 0 \quad \zeta(\xi, \eta) := \xi + i\eta \quad z = (x(\zeta)) + i \cdot y(\zeta)$$

Следуя /1, 2/, запишем общий вид отображающей функции

$$z(\xi, \eta) := i \cdot \zeta(\xi, \eta)^2 + \alpha \cdot \zeta(\xi, \eta) + a 0 + \frac{\alpha 1 + i \cdot \beta 1}{\zeta(\xi, \eta) - i} \quad (2)$$

Функция (2) при $\eta=0$ является параметрическими уравнениями некоторых кривых, вид которых обладают следующими чертами: при отсутствии дробного слагаемого превращается в параболу (1); при стремлении переменной ζ на бесконечность дробный слагаемый стремится к нулю; при конечных значениях $\alpha 1$ и $\beta 1$ контурные кривые от параболы отличаются только вблизи начала координат $\zeta=0$, т.е. в зоне вершины параболы (1). Рассмотрим примеры вариаций параметров в (2). При $\alpha=0,05$ и $0,12$ форма контурных линий приведена на рис. 1. При $\beta 1=0,15$ и $-0,15$, $\alpha=0,05$ отображенные области изображены на рис. 2. Текст программы расчета весьма привычен и идентичен записям в алгебре. Каждый вариант расчета контура обозначен просто как $x1, y1$; $x2, y2$ и т.д., как изображено на координатных осях (рис. 1 и рис. 2).

$$x1(\xi) := \operatorname{Re}(z(\xi, 0)) \quad y1(\xi) := \operatorname{Im}(z(\xi, 0)) \quad \xi := -9, -8.9..9$$

$$\alpha := 0.05 \quad z2(\xi, \eta) := i \cdot \zeta(\xi, \eta)^2 + \alpha \cdot \zeta(\xi, \eta) + a 0 + \frac{\alpha 1 + i \cdot \beta 1}{\zeta(\xi, \eta) - i}$$

$$x2(\xi) := \operatorname{Re}(z2(\xi, 0)) \quad y2(\xi) := \operatorname{Im}(z2(\xi, 0))$$

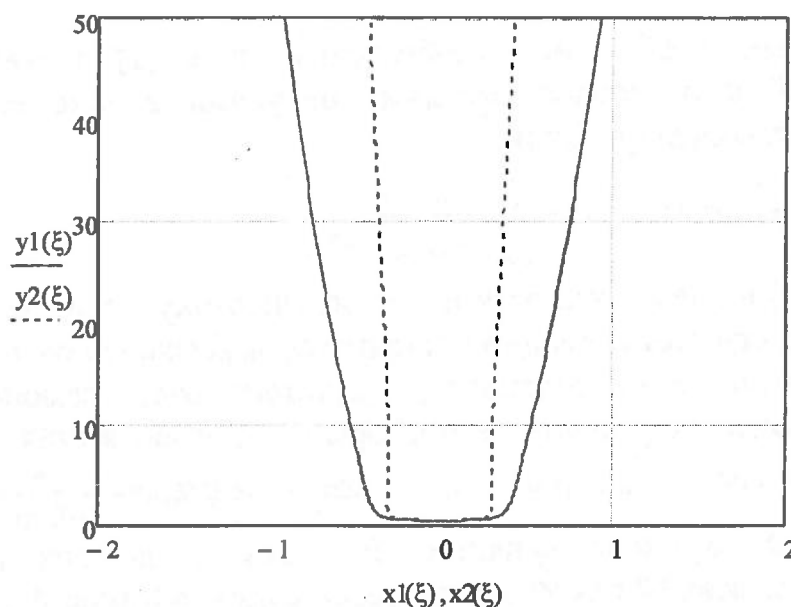


Рис. 1. Контурные линии узких речных каньонов

$$\beta_1 := 0.1 \quad \alpha_1 = 0.5 \quad z_3(\xi, \eta) := i \cdot \zeta(\xi, \eta)^2 + \alpha \cdot \zeta(\xi, \eta) + a_0 + \frac{\alpha_1 + i \cdot \beta_1}{\zeta(\xi, \eta) - i}$$

$$\beta_1 := -0.1 \quad z_4(\xi, \eta) := i \cdot \zeta(\xi, \eta)^2 + \alpha \cdot \zeta(\xi, \eta) + a_0 + \frac{\alpha_1 + i \cdot \beta_1}{\zeta(\xi, \eta) - i}$$

$$x_3(\xi) := \operatorname{Re}(z_3(\xi, 0)) \quad x_4(\xi) := \operatorname{Re}(z_4(\xi, 0))$$

$$y_3(\xi) := \operatorname{Im}(z_3(\xi, 0)) \quad y_4(\xi) := \operatorname{Im}(z_4(\xi, 0))$$

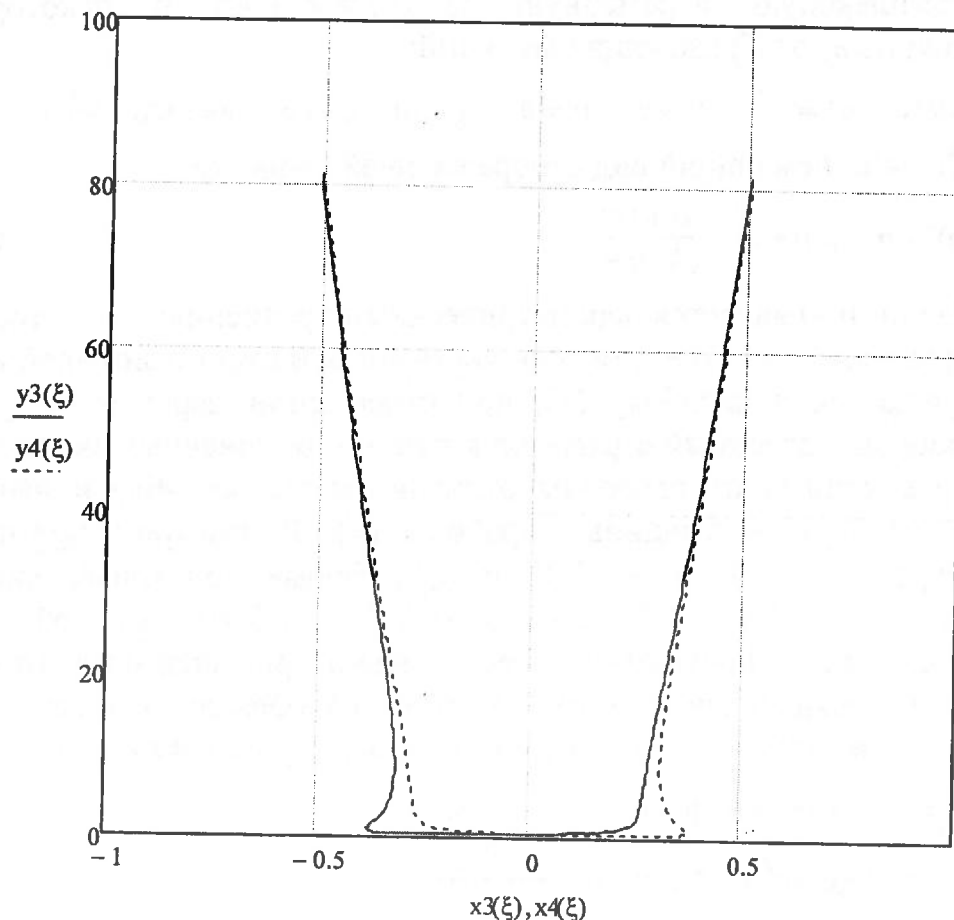


Рис. 2. Речные каньоны с несимметричными основаниями

Естественным обобщением отображений типа (1) является вариация контура областей с параболообразными контурами в зоне ее вершины с помощью отображающей функции:

$$Z(\xi, \eta) := i \cdot \zeta(\xi, \eta)^2 + \alpha \cdot \zeta(\xi, \eta) + a_0 + \sum_{k=1}^n \frac{\alpha_k + i \cdot \beta_k}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^k} \quad (3)$$

Функция (3) на бесконечности имеет асимптотику – кривая парабола (1), в зоне вершины допускает вариации постоянных α_k, β_k так, чтобы не нарушались требования непрерывности, гладкости, отсутствия точек самопересечения и другие требования, предъявляемые к конформности отображения.

$$\alpha := 50 \quad h := 100 \quad \zeta_1(\xi, \eta) := \xi + i \cdot \eta \quad z_1(\xi, \eta) := \alpha \cdot \zeta_1(\xi, \eta) + \frac{h}{\zeta_1(\xi, \eta) - i} \quad (4)$$

Нахождение обратной функции типа $\zeta = \Omega(z)$ до сих пор остается нерешенным, хотя всякий раз констатируется существование подобной связи. Программная среда MATCADa [3] допускает отыскание такой связи, по

крайней мере, для случая, когда обратная связь отыскивается из уравнения второй степени – внешности эллипса, параболы и отображений типа (1). Например, из (1) следует уравнение второй степени относительно переменной ζ в виде:

$$\alpha \cdot \zeta^2 - (i \cdot \alpha + z) \cdot \zeta + (h + i \cdot z) = 0$$

Первый случай, когда необходимо знать обратно отображающие функции, возникает при исследовании численными методами моделирования, например, методом конечных разностей, методом конечных элементов или методом граничных элементов. При этом расчетная схема отображает исследуемый объект, который является частью массива, отделенной от окружающей горной среды. При этом на контуре выделенной от массива части граничные условия задаются приближенно в рамках субъективных различных гипотез. Например, расчетная схема откосов и основания карьера, из-за разномасштабности размеров окружающего массива земной коры и карьера, будет отделена с двух боковых сторон и ниже от уровня основания карьера в горизонтальном направлении. Другими словами, кроме дневной поверхности карьера задаваемые граничные условия на трех перечисленных контурах, заранее неизвестные, задаются только гипотетически.

$$\zeta_{\infty} := -1 \quad z_{\infty} := \alpha \cdot \zeta + \frac{h}{\zeta - i} \quad z = -100 + 50i$$

$$k := 0, 1..10$$

$$z1(k) := -100 + 50i - 10 \cdot k \cdot i \quad d(k) := (z1(k) + i \cdot \alpha)^2 - 4 \cdot \alpha \cdot (h + i \cdot z1(k))$$

$$rd(k) := \text{Re}(d(k)) \quad r(k) := |d(k)| \quad md(k) := \text{Im}(d(k)) \quad R(k) := \sqrt{r(k)}$$

$$\phi_c(k) := \frac{rd(k)}{r(k)} \quad \phi_s(k) := \frac{md(k)}{r(k)}$$

$$\phi0(k) := \begin{cases} \phi01 \leftarrow \arccos(\phi_c(k)) + 2 \cdot \pi & \text{if } (\phi_c(k) > 0 \wedge \phi_s(k) > 0) \\ \phi01 \leftarrow -\arcsin(\phi_s(k)) - \pi & \text{if } (\phi_s(k) = 0 \wedge \phi_c(k) = -1) \\ \phi01 \leftarrow \arcsin(\phi_s(k)) & \text{if } (\phi_s(k) < 0 \wedge \phi_c(k) > 0) \\ \phi01 \leftarrow -\arccos(\phi_c(k)) & \text{if } (\phi_s(k) < 0 \wedge \phi_c(k) < 0) \\ \phi01 \leftarrow 2 \cdot \pi + \arccos(\phi_c(k)) & \text{if } (\phi_s(k) > 0 \wedge \phi_c(k) < 0) \\ \phi01 \end{cases}$$

$$\phi s1(k) := \cos\left(\frac{\phi0(k)}{2}\right) + i \cdot \sin\left(\frac{\phi0(k)}{2}\right) \quad fz_{k,0} := z1(k)$$

$$\zeta\zeta(k) := \frac{[(z1(k) + i \cdot \alpha) + R(k) \cdot \phi s1(k)]}{2 \cdot \alpha} \quad fz_{k,1} := \zeta\zeta(k)$$

$$z2(k) := \alpha \cdot \zeta\zeta(k) + \frac{h}{\zeta\zeta(k) - i} \quad fz_{k,2} := z2(k)$$

	0	1	2
0	-100+50i	-1	-100+50i
1	-100+40i	-1.099-0.11i	-100+40i
2	-100+30i	-1.193-0.238i	-100+30i
3	-100+20i	-1.278-0.38i	-100+20i
4	-100+10i	-1.353-0.533i	-100+10i
5	-100	-1.419-0.694i	-100
6	-100-10i	-1.476-0.86i	-100-10i
7	-100-20i	-1.527-1.029i	-100-20i
8	-100-30i	-1.571-1.202i	-100-30i
9	-100-40i	-1.609-1.377i	-100-40i
10	-100-50i	-1.644-1.554i	-100-50i

Как видно, отображение $z1(k)$ на $\zeta\zeta(k)$ и его обратное отображение $z2(k)$ соответствуют взаимно однозначно.

На практике отображение внешности параболы на полуплоскость задается функцией типа /1, 2/.

$$\alpha := 0.01 \quad \gamma := 1 \quad i := \sqrt{-1}$$

$$\zeta1(\xi, \eta) := \xi + i \cdot \eta \quad z1(\xi, \eta) := \alpha \cdot \zeta1(\xi, \eta) + i \cdot \gamma \cdot \zeta1(\xi, \eta)^2$$

где α и γ – варьируемые постоянные.

$$\zeta^2 + \frac{\alpha}{i \cdot \gamma} \cdot \zeta - \frac{z}{(i \cdot \gamma)} = 0$$

$$k := 1..10$$

$$\zeta(k) := -5 + k - i \cdot 2$$

$$z1(k) := \alpha \cdot \zeta(k) + i \cdot \gamma \cdot \zeta(k)^2$$

$$\zeta1(k) := \frac{\alpha}{i \cdot \gamma} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\alpha}{i \cdot \gamma}\right)^2 + 4 \cdot \frac{z1(k)}{(i \cdot \gamma)}}$$

$$\zeta2(k) := \frac{\alpha}{i \cdot \gamma} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\alpha}{i \cdot \gamma}\right)^2 + 4 \cdot \frac{z1(k)}{(i \cdot \gamma)}}$$

$$\zeta1(k) := \begin{cases} \zeta2(k) & \text{if } (\text{Re}(z1(k)) \leq 0) \\ \zeta1(k) & \text{if } (\text{Re}(z1(k)) > 0) \end{cases}$$

	0
0	-4-2i
1	-3-2i
2	-2-2i
3	-1-2i
4	-2i
5	1-2i
6	2-2i
7	3-2i
8	4-2i
9	5-2i

	0
0	-16.04+11.98i
1	-12.03+4.98i
2	-8.02-0.02i
3	-4.01-3.02i
4	-4.02i
5	4.01-3.02i
6	8.02-0.02i
7	12.03+4.98i
8	16.04+11.98i
9	20.05+20.98i

	0
0	-4-2i
1	-3-2i
2	-2-2i
3	-1-2i
4	-2i
5	1-2i
6	2-2i
7	3-2i
8	4-2i
9	5-2i

На практике отображение внешности эллипса на внешность единичного круга задается функцией типа /1, 2/.

$$m := 0.2$$

$$\chi := 1.$$

$$j := \sqrt{-1}$$

$$\rho := 10 \quad \theta := \pi$$

$$\zeta(\rho, \theta) := \rho \cdot e^{i \cdot \theta}$$

$$z(\xi, \eta) := \gamma \cdot \left(\zeta(\rho, \theta) + \frac{m}{\zeta(\rho, \theta)} \right) \quad (5)$$

$$z(-10, -1) = -1.2$$

где m и γ – варьируемые постоянные.

$$\zeta^2 - \frac{z}{\gamma} \cdot \zeta + m = 0 \quad (6)$$

$$\zeta_1 := \frac{z}{2\gamma} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{z}{\gamma}\right)^2 + 4 \cdot m}$$

$$\zeta_2 := \frac{z}{2\gamma} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{z}{\gamma}\right)^2 + 4 \cdot m}$$

$$k := 1..10$$

$$\theta_k := \frac{7 \cdot \pi}{4}$$

$$\zeta(k) := k \cdot e^{i \cdot \theta}$$

$$z_1(k) := \gamma \cdot \zeta(k) + \frac{m \cdot \gamma}{\zeta(k)}$$

$$\varphi_1(k) := \frac{z_1(k)}{2\gamma} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{z_1(k)}{\gamma}\right)^2 - 4 \cdot m}$$

$$\varphi_2(k) := \frac{z_1(k)}{2\gamma} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{z_1(k)}{\gamma}\right)^2 - 4 \cdot m}$$

$$\zeta_1(k) := \begin{cases} \varphi_2 \leftarrow \varphi_2(k) & \text{if } (\operatorname{Re}(z_1(k)) \leq 0) \\ \varphi_1 \leftarrow \varphi_1(k) & \text{if } (\operatorname{Re}(z_1(k)) > 0) \end{cases}$$

$$\zeta(k) =$$

	0
0	0.707-0.707i
1	1.414-1.414i
2	2.121-2.121i
3	2.828-2.828i
4	3.536-3.536i
5	4.243-4.243i
6	4.95-4.95i
7	5.657-5.657i
8	6.364-6.364i
9	7.071-7.071i

$$z_1(k) =$$

	0
0	0.849-0.566i
1	1.485-1.344i
2	2.168-2.074i
3	2.864-2.793i
4	3.564-3.507i
5	4.266-4.219i
6	4.97-4.93i
7	5.675-5.639i
8	6.38-6.348i
9	7.085-7.057i

$$\zeta_1(k) =$$

	0
0	0.707-0.707i
1	1.414-1.414i
2	2.121-2.121i
3	2.828-2.828i
4	3.536-3.536i
5	4.243-4.243i
6	4.95-4.95i
7	5.657-5.657i
8	6.364-6.364i
9	7.071-7.071i

Список литературы

1. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
2. Жумабаев Б. Распределение напряжений в массивах пород с гористым рельефом. – Фрунзе: Илим, 1988. – 190 с.
3. Кирянов Д. Mathcad 14. – СПб.: БВХ-Петербург, 2007. – 704 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКАХ И ОБРАЗОВАНИИ

УДК 004:681.3

М.К.Койчуманов

ПУТИ И СРЕДСТВА АКТИВИЗАЦИИ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАГИСТРАНТОВ – БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ

Проблема активизации учебно-познавательной деятельности студентов-магистрантов является одной из актуальных педагогических проблем. От уровня ее решения зависят качество научно-теоретической подготовки магистрантов по предметам своей будущей специальности, уровень сформированности профессионально значимых умений и степень их готовности к самостоятельному пополнению и углублению своих знаний в процессе предстоящей педагогической деятельности.

Успех решения проблемы может быть достигнут при выполнении целого ряда условий, из которых наиболее значимыми являются следующие:

1. Четкое определение объема занятий по всем предметам, который был бы посилен для усвоения всеми магистрантами, и формирование у них убежденности в том, что усвоение этого объема посильно для всех магистрантов.

2. Формирование у магистрантов убеждения в том, что без усвоения этого объема знаний не может быть высококвалифицированного учителя (преподавателя) физики, способного вести на высоком научно-теоретическом и профессионально-методическом уровне преподавание своего предмета, решая при этом задачи нравственного воспитания и развития интеллекта, творческих способностей своих будущих учеников.

3. Осуществление дифференцированного подхода в подготовке специалистов на основе реализации идеи многоуровневой подготовки к профессии с учетом склонностей, способностей студентов, их ориентации на работу с детьми определенного уровня (младший школьный возраст, подростки, учащиеся старших классов, общеобразовательная школа или школа с углубленным изучением предмета).

Все это – условия формирования положительных мотивов к учебно-познавательной деятельности.

4. Важным условием активизации учебно-познавательной деятельности студентов-магистрантов является создание такой системы обучения, которая требовала бы от них систематической самостоятельной работы с литературой по решению задач, овладению методикой и техникой демонстрационного и

лабораторного эксперимента, по разработке новых методов и форм обучения. Иными словами, учебно-познавательная деятельность студентов-магистрантов должна быть по своему содержанию и методам выполнения максимально приближена к будущей профессионально-педагогической деятельности.

Только осознав и поняв, что та деятельность, которую предлагают ему педагоги, необходима для качественной его подготовки к деятельности в школе, студент-магистрант будет охотно ее выполнять, а не по принуждению.

5. Успешная самостоятельная работа, ориентированная на приобретение новых знаний и профессионально-методических умений, возможна при условии, когда студент-магистрант обладает рациональными приемами познавательной деятельности (работа с книгой, конспектирование, написание рефератов, работа с приборами, постановка эксперимента, решение задач и т.д.).

Поэтому содержание обучения по специальным дисциплинам должно включать не только сообщение студентам-магистрантам определенной программой суммы знаний, но и формирование у них потребности самостоятельно приобретать знания, воспитание культуры интеллектуального труда.

6. В учебном процессе по предметам педагогического цикла важно широко использовать игровые элементы (дидактические игры), повышающие интерес к познавательной деятельности, имея в виду подготовку студентов-магистрантов к использованию игровых элементов в учебном процессе по физике в школе.

Предлагаем рассмотреть требования, предъявляемые к современному уроку физики в средней школе.

Повысить качество обучения, трудового и нравственного воспитания в школе, изжить формализм в оценке результатов труда учителей и учащихся, на деле укрепить связь обучения с жизнью, улучшить подготовку школьников к общественно полезному труду – это задачи, поставленные перед школой современного общества. В выполнении этих задач решающее значение имеет повышение качества урока – основной формы учебно-воспитательной работы школы.

Что такое современный урок физики? Ответ на этот вопрос ассоциируется, прежде всего, с достижениями физики, методики обучения, дидактики, педагогики, а именно с обоснованием содержания учебного курса, с активизацией эвристической деятельности школьников на основе проблемности, программирования, применения ТСО, с усилением лабораторного эксперимента и физического практикума творческого характера. Все это, несомненно, так, но этого недостаточно. Любое из этих направлений, взятое как самоцель, приводит к формализму и не дает тех результатов, которые требуются от современной школы.

Поэтому современным уроком может считаться урок, который обеспечивает высокую учебно-воспитательную эффективность в условиях всеобщего обязательного обучения, т.е. когда каждый ученик получает на уроке

глубокие и прочные знания, эффективное воспитательное воздействие. Можно выделить ряд факторов, определяющих эффективность урока, а именно:

- высокий уровень мотивации учебной деятельности на уроке и интереса к учебному материалу, который достигается идейно-политической направленностью преподавания;
- ясное понимание учителем и школьниками задач урока и требований к результатам обучения;
- вооружение школьников методами науки, общим подходом к изучаемому материалу на основе научной методологии развития физической науки: от исходных фактов к ядру физической теории (понятия, модели, законы, принципы), от него к выводу теоретических следствий (теоретическое предвидение) и – далее экспериментальная проверка теоретических выводов и их практическое применение;
- раскрытие содержания уроков с методологической концепцией;
- закрепление изученного материала путем упражнений и самостоятельной работы школьников с текстом учебника;
- проверка и оценка знаний и качества учебной работы школьников за текущий урок.

Остановимся на каждом из этих факторов в отдельности.

В условиях всеобщего обязательного среднего образования требования к качеству мотивации (себеп, далил, шылтоо) обучения, к формированию познавательного интереса школьников к предмету возрастают. Учащиеся должны всякий раз понимать, каков смысл изучения предлагаемого материала, зачем это нужно. Более того, современный школьник вправе желать, чтобы учебная деятельность была интересной, давала удовлетворение. Методика располагает богатым арсеналом средств достижения этих целей. Укажем главные:

- раскрытие значения изучаемого материала для жизни страны, развития народного хозяйства, истории развития науки и техники;
- ознакомление учащихся с указами Президента, Постановлениями правительства и министерства;
- раскрытие роли научных и технических достижений ближнего и дальнего зарубежья и своей страны;
- освещение вклада выдающихся отечественных и зарубежных ученых и инженеров в ускорении темпов научно-технического прогресса.

В целях нравственного воспитания школьников передовые учителя находят возможности для того, чтобы установить связь изучаемого на уроке материала по физике с основными задачами развития науки и техники: развитие физики элементарных частиц, атомной энергетики, в том числе атомных реакторов на быстрых нейтронах, разработка основ термоядерной энергетики; повышение единичных мощностей машин; увеличение масштабов использования в народном хозяйстве возобновляемых источников энергии; внедрение в промышленность ЭВМ и микропроцессорной техники,

промышленных роботов. Такого рода материал используется при изучении соответствующих разделов физики и затем систематизируется на специальных обобщающих уроках: «Механика и механизация производства», «Основные законы электродинамики и их техническое применение», «Успехи и перспективы электрификации СНГ (СССР)», «Развитие средств связи в СНГ и КР», «Физика и научно-технический прогресс», «Современная физическая картина мира».

Для современного урока характерна направленность его содержания и методов на развитие познавательного интереса школьников к предмету. В связи с этим на уроке возрастает роль учебника, хрестоматии, справочника, физического эксперимента и формирования как предметных, так и общеучебных умений.

Для преодоления формализма в оценке труда учителя и ученика на уроке важнейшим является ясное понимание задач урока. Учитель обязан знать, какой учебно-воспитательный эффект должен быть достигнут и какими средствами. Ученику должно быть ясно, что ему необходимо усвоить на уроке, как надо для этого действовать, какие требования предъявляются к его ответам и действиям.

Опыт работы с учителями показывает, что сравнительно легко формулируются такие задачи обучения: сформировать понятие, выучить вывод формулы, усвоить закон, развить умение и т.д.

Труднее формулируются воспитательные задачи. Эту задачу возможно решить более деликатно: нельзя воспитать ученика за один урок, но можно в целях нравственного воспитания показать значение общественного опыта в науке, эвристическую роль научной теории, роль физического эксперимента, использование достижений науки в будущем строительстве и т.д.

В методической литературе много разговоров о необходимости привести методы в соответствие с новым содержанием образования. При этом нередко проблема вульгарно упрощается, и все сводится к противопоставлению «новых», «продуктивных» методов «старым», «репродуктивным» методам (продуктивный – жемиштүү, өнүмдүү, берекелүү, натыйжалуу, пайдалуу, натыйжалуу иш; репродуктивный – көчүрмөлүү, сүрөттүн же башка нерсенин көчүрмөсү).

Многолетняя работа передовых учителей показала, что продуктивный метод обучения школьников невозможен без репродуктивного усвоения методов изучаемой науки. Эти методы: наблюдение, постановка проблемы, выдвижение гипотезы, теоретический вывод следствий, эксперимент – выступают как важнейшие методы обучения, которыми руководствуются школьники в своей учебной деятельности.

Важная особенность современного урока – это вооружение школьников знаниями основ фундаментальных физических теорий. Школьный курс физики строится на основе четырех фундаментальных теорий: классической механики, молекулярной физики, электродинамики с элементами специальной теории относительности, квантовой теории. Каждая фундаментальная теория содержит

теоретические обобщения разных уровней: факты, понятия, идеализированные модели явлений, законы, теоретические выводы, конкретные применения на практике. На уроках главное внимание обращается на изучение основных понятий, идеализированных моделей, законов теоретических выводов. Объяснение частных научных фактов, конкретных применений теорий на практике приводится учащимися самостоятельно (с той или иной мерой помощи учителя) на основе общих знаний.

Возрастает роль демонстрационного и лабораторного эксперимента, который используется на различных этапах урока и с разными дидактическими целями. Он выполняет роль исходных фактов для обоснования теории, является наглядной реализацией модельных гипотез, служит для проверки теоретических выводов, для демонстрации применения законов физики в промышленности и сельском хозяйстве. Поэтому школьный физический эксперимент не только формирует интерес к изучаемому материалу, но и помогает раскрыть связь категорий теоретического обобщения: факты, модель, следствие, практические применения теории. В процессе усвоения такой связи учащиеся анализируют, сравнивают, сопоставляют явления, понятия, законы, что важно для развития их мышления.

Важной формой теоретического обобщения является изложение прикладных вопросов курса физики на основе главных направлений технического прогресса. Содержание этих вопросов определяется научной значимостью и политехнической направленностью. Содержание школьного курса физики позволило определить темы уроков обобщения прикладных вопросов: механика и механизация, автоматизация производства; молекулярная физика и производство материалов с заданными свойствами; теплоэнергетика, электродинамика и энергетика, электротехника, развитие средств связи; квантовая физика и оптические приборы, ядерная энергетика.

Изучение на уроках основ фундаментальных физических теорий, изменение методов, направленных на развитие познавательных и творческих способностей учащихся, обобщение прикладных вопросов курса на основе главных направлений научно-технического прогресса – все это важные предпосылки для формирования диалектико-материалистического мировоззрения и нравственных черт личности школьников.

В целях формирования научного мировоззрения в курсе физики предусмотрено ознакомление школьников с понятием о единой научной физической картине мира (ФКМ). Это понятие помогает в выпускном классе систематизировать и обобщать материал курса вокруг стречневых идей эволюции ФКМ. Чтобы подготовить учащихся к таким обобщениям, необходимо в курсе физики изучать теоретико-познавательные вопросы: соотношение опыта и теории, роль моделей в физике, границы применимости теорий и т.д.

Важная черта современного урока – это учет при его построении динамики умственной работоспособности школьников в течение рабочего дня и недели. Необходимо стремиться к тому, чтобы учебный материал урока был в

основном проработан и закреплён в классе. Нельзя переносить центр тяжести на домашние задания.

Недостатком подавляющего большинства уроков и по сей день является отсутствие проработки школьниками материала на уроке. Характерным признаком современного урока является закрепление вновь изученного материала путем выполнения упражнений и работы с текстом учебника, подготовка к ответу на оценку. При этом учитель заранее формулирует свои требования к ответу школьников.

Вопрос об учете успеваемости школьников в практике работы школ является одним из наиболее трудных и актуальных. Мы разделяем мнение тех, кто, как правило, не рекомендует опрашивать учащихся на отметку в начале урока. В начале урока надо изучать новое и ставить задачи перед школьниками. Надо их приучать к мысли, что они при желании могут стать хозяевами своей успеваемости.

Спрашивать рекомендуется по ходу урока и в конце урока, главным образом, по материалу текущего урока. Оценивать вполне можно по двум-трем обстоятельным ответам на вопросы. Опыт показывает, что при этом удастся развивать познавательный энтузиазм школьников и оценивать ответы 5-6 учащихся каждый урок.

Характерной чертой современного урока является оценивание не только качества усвоения изучаемого, но и самой учебной деятельности: составление плана ответа по тексту учебника, последовательность и полнота раскрытия физического понятия, план выполнения лабораторной работы, соблюдение правил взвешивания, сборки электрической цепи, техника безопасности и т.п.

Как оценивать знания (см. Контроль знаний учащихся по физике /Под ред. В.Г.Разумовского и Р.Ф.Кривошаповой. — М.: Просвещение, 1982) учащихся при изучении нового материала, показано на примерах нескольких уроков в разных классах (Усова А.В. МПОР в 7-8-х классах средней школы. — М.: Просвещение, 1990).

УДК 52

К.К.Талыпов

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ АЭРОКОСМОСНИМКОВ

Перспективным методом исследования поверхности нашей планеты с точки зрения мониторинга ее состояния, анализа ее структуры с целью выявления ее ресурсов и прогнозирования ее поведения, в том числе техногенных и естественных катастроф, является использование данных дистанционного зондирования со спутников Земли. Интерес к использованию этих данных обусловлен также и тем, что такая информация является все более доступной при увеличении их пространственного и спектрального разрешения.

Информация со спутников, как правило, поступает в виде цифровых изображений, обработка ее выполняется на ЭВМ. Актуальной задачей при этом является создание доступных инструментов обработки данных дистанционного зондирования, представленных в виде изображений в силу их особенностей. В частности, особенность изображений объектов обработки является их многомерность и чрезвычайно большая информационная емкость. Так, один многозональный аэрокосмоснимок может содержать от сотен гигабит до десятков терабит информации. Соответственно, вырастает и вычислительная сложность алгоритмов обработки и анализа изображений. Учитывая объемы и специфику данных, получаемых с космических аппаратов, решение поставленных задач без применения современных компьютерных технологий невозможно.

В связи с этим возникает потребность разработки высокопроизводительных технических систем и специализированного уникального программного обеспечения [1]. Однако в настоящее время мощности персональных компьютеров уже достаточны для того, чтобы организовать рабочее место оператора тематической обработки аэрокосмоснимков, для чего нужно разработать соответствующее прикладное программное обеспечение. С этой целью в ИИП КГУСТА в сотрудничестве с ИФПИИТ НАН разрабатывается программный комплекс цифровой обработки аэрокосмоснимков, описанию которого посвящена данная статья.

Основные методы цифровой обработки изображений

Изображения представляются как скалярные (моноспектральные снимки) или векторные (мультиспектральные снимки) функции двух переменных $U(x_I, y_I)$. Процесс обработки математически описывается как применение некоторого оператора, преобразующего входное изображение $U(x_I, y_I)$ в выходное $V(x_D, y_D)$ (задачи обработки) или же в набор признаков $p_1, p_2, \dots, p_n$ (при распознавании и анализе).

В операторном виде задачи обработки изображений можно записать:

$$V(x_D, y_D) = \mathcal{R} \{ U(x_I, y_I) \}. \quad (1)$$

В зависимости от вида оператора $\mathcal{R}$ получаются линейные, нелинейные или итерационные методы обработки.

В случае линейного оператора $\mathcal{R} = \mathcal{L}$, используя понятие импульсного отклика $h(x_I, y_I; x_D, y_D) = \mathcal{L} \{ \delta(x_I - x_D, y_I - y_D) \}$, т.е. результата воздействия оператора на δ -функцию Дирака, (1) можно записать в виде интеграла суперпозиции [2]:

$$V(x_D, y_D) = \iint h(x_I, y_I; x_D, y_D) U(x_I, y_I) dx_I dy_I. \quad (2)$$

Если оператор является пространственно-инвариантным, и, следовательно, импульсный отклик имеет вид

$$h(x_I, y_I; x_D, y_D) = h(x_I - x_D, y_I - y_D), \text{ то} \\ V(x_D, y_D) = \iint h(x_I - x_D, y_I - y_D) U(x_I, y_I) dx_I dy_I, \quad (3)$$

т.е. обработанное изображение является сверткой входного изображения и импульсного отклика преобразующего оператора.

Способы обработки изображений, основанные на вычислении интегралов (2) и (3), называются пространственной фильтрацией в предметной области.

При цифровой обработке на ЭВМ все функции и операторы представляются в дискретном виде и, например, (3) принимает вид:

$$v(m,n)=\sum\sum h(m-k,n-l)u(k,l). \quad (4)$$

Большинство алгоритмов обработки изображений сводится к выполнению вычислений по ограниченной окрестности обрабатываемой точки на изображении (пикселя в дискретном случае), т.е. интегральные преобразования осуществляются в пределах ограниченного носителя ядра $h(x_i, y_i; x_D, y_D)$ (или h – финитная функция). В этом случае в (2)-(4) пределы интегрирования и суммирования конечны.

Область задания h называют окном. Окна могут иметь вид линейки, креста, прямоугольника, гексагональный тип и т.п. Значения h определяют тип обработки: пространственное сглаживание для подавления помех, пространственное дифференцирование для выделения контуров, различные алгоритмы нелинейной фильтрации и т.д. Для вычисления могут использоваться различные быстрые алгоритмы обработки дискретных сигналов [3].

Известны также так называемые глобальные методы обработки изображений. Одним из эффективных методов является использование косвенных вычислений, опирающихся на двумерные ортогональные преобразования. Эти методы, в частности, позволяют удалять пространственно распределенные шумы, обусловленные, например, неравномерностью освещения.

Применяя преобразование Фурье

$$F(\xi, \eta) = \Phi\{f(x, y)\} = \iint f(x, y) e^{-2\pi i(\xi x + \eta y)} dx dy$$

к (2), получим

$$v(\xi, \eta) = v(\xi, \eta) H(\xi, \eta), \quad (5)$$

где $v(\xi, \eta) = \Phi\{V(x, y)\}$, $v(\xi, \eta) = \Phi\{U(x, y)\}$, $H(\xi, \eta) = \Phi\{h(x, y)\}$.

Отсюда следует, что обработанное изображение можно получить обратным Фурье преобразованием произведения

$$V(x_D, y_D) = \Phi^{-1}\{v(\xi, \eta)\} = \Phi^{-1}\{v(\xi, \eta) H(\xi, \eta)\},$$

где $\Phi^{-1}\{v(\xi, \eta)\} = \iint F(\xi, \eta) e^{2\pi i(\xi x + \eta y)} dx dy$.

Известно [2], что низкочастотные компоненты Фурье-преобразования соответствуют однородным объектам и фону, а высокочастотные – контурам и шуму. Тогда для обработки изображений можно использовать фильтры нижних или верхних частот в зависимости от решаемой задачи обработки.

Как видим, в выражениях используются функции комплексной переменной, а физическим представлений таких изображений являются голограммы, поэтому для обработки в пространственной области естественно применение методов голографии.

В цифровой обработке изображений широко используются методы и алгоритмы цифровой голографии. В частности для подбора комплекснозначных фильтров для обработки необходимо использовать цифровой синтез голографических фильтров /4/.

Применение аэрокосмоснимков

В настоящее время известно много примеров использования аэрокосмоснимков для изучения природных ресурсов Земли. Несколько слов о применении в геологическом дешифрировании, так как они были предметом исследования автора ранее /1/.

Одной из областей эффективного применения материалов аэрокосмической съемки является анализ линеаментов, т.е. линейных элементов изображений поверхности Земли. Традиционно анализ линеаментов осуществляется дешифровщиком вручную на основе визуального наблюдения аэрокосмического снимка. Повышение объективности и эффективности анализа линеаментов можно достичь автоматизированным их выделением непосредственно из аэрокосмоснимка. Попытки использования для этой цели классических операторов дифференцирования не позволяют получать материалы, пригодные для практического использования. Более перспективным является проведение высокочастотной фильтрации методами когерентных оптических преобразований /5/. Спектр применения методов линеаментного анализа достаточно широк – ландшафтно-геологическое картирование, поиск рудных и нерудных полезных ископаемых, прогноз сейсмоопасности, что чрезвычайно важно в условиях Кыргызстана /6/.

В целом обработку аэрокосмоснимков с целью анализа линеаментов можно представить в виде следующей последовательности:

- ввод аэрокосмоснимка в вычислительную среду;
- выделение линейных элементов аэрокосмоснимка;
- предварительная обработка карты линеаментов;
- расчет диаграмм направленности линеаментов;
- привязка к местности и анализ.

Сегодня применение космических технологий становится основным практическим и научным методом исследования Земли, водной поверхности и атмосферы.

Для Кыргызской Республики особенно актуальными являются возможности использования обработки аэрокосмоснимков для следующих целей:

- мониторинг горнодобывающей деятельности и утилизации отходов, анализ, картографирование и мониторинг воздействия человеческой деятельности на загрязнение окружающей среды, воздушной среды и урбанизированных районов;

- поиск полезных ископаемых, составление и обновление геологических карт, выявление и описание геологических структур, схем линеаментов;
- выделение вегетативных зон, определение качества посевов и биомассы, видов и объемов лесных участков, мониторинг лесных пожаров, анализ и расчет объемов запасов ледниковых вод и т.п.

Описание комплекса программ обработки аэрокосмоснимков

Разрабатываемый комплекс обработки аэрокосмоснимков содержит все необходимые для обработки компоненты:

- визуализация данных;
- моделирование объектов обработки;
- обработка в предметной области;
- обработка в частотной области;
- поэлементных преобразований;
- вычисление статистических характеристик изображения;
- элементы линеаментного анализа.

Предлагаемый комплекс программного обеспечения предусматривает возможность использования для целей анализа линеаментов. Для конкретных задач нужна небольшая адаптация.



Рис. 1. Визуализация космоснимка

Примеры цифровой обработки изображений

Здесь приведены некоторые фрагменты работы программного комплекса цифровой обработки изображений. Визуализация космоснимка озера Сон-Кол (рис. 1) и моделирование выделения контуров как пример обработки (рис.2).

Выделение контуров является необходимой операцией при линеаментном анализе космоснимков для целей геологического дешифрирования.

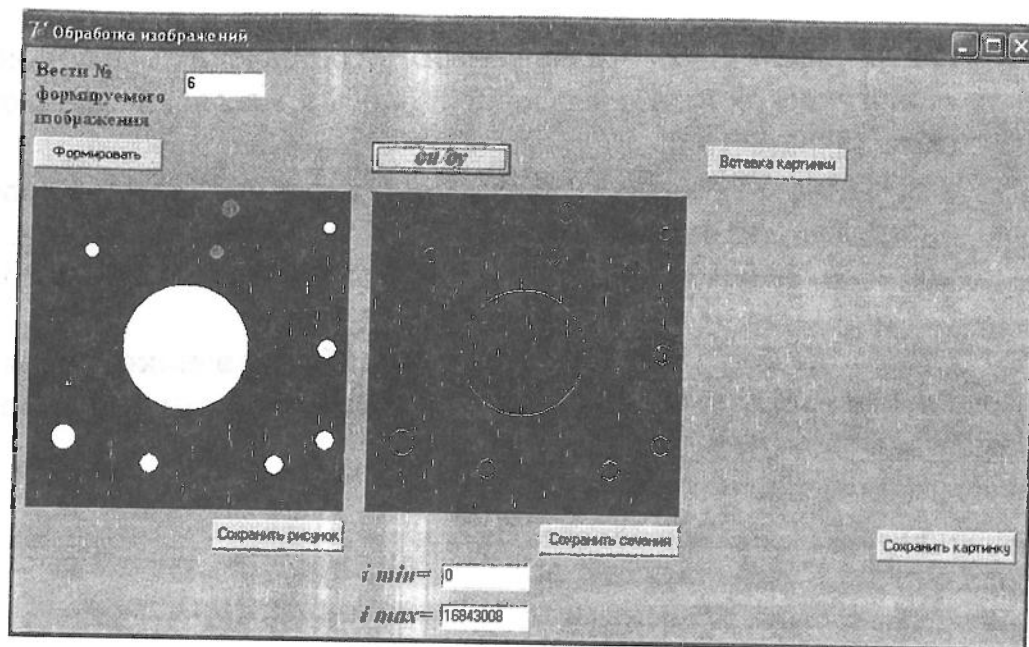


Рис. 2. Моделирование выделения контуров

Список литературы

1. Тальпов К.К. Моделирование, разработка и применение гибридной оптико-электронной системы обработки изображений с ППП-подсистемой: Дисс. ... канд. техн. наук. – Бишкек, 1991. – С. 350.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. В 2-х кн. – М.: Мир, 1982. – С. 712.
3. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1989. – С. 448.
4. Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации. – М.: Высшая школа, 1988. – С. 237.
5. Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэрофотоснимков. – Л.: Наука, 1967. – С. 156-196.
6. Бондур В.Г., Зверев А.Т.. Метод прогнозирования землетрясений на основе линеаментного анализа космических изображений // Докл. Российской академии наук. – 2005. – Т. 402. – № 1. – С. 98-105.

УДК 004:681.3

А.Б.Бийбосунов, Г.И.Бийбосунуова, Н.А.Садыкова

РАЗРАБОТКА WEB-САЙТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CMS "Joomla!"

Сегодня в образовательный процесс высшей школы успешно внедряются технологии e-learning (электронного образования). Причем на нынешнем этапе развития и применения информационно-коммуникационных технологий

в обучении пришло понимание того, что недостаточно просто провести Интернет или установить систему дистанционного обучения и наполнить ее электронными учебными материалами. В высших учебных заведениях востребованы, прежде всего, средства интегрированных коммуникаций (видео- и аудиоконференции, обмен файлами) и совместной работы (порталы, средства удаленной групповой работы с файлами, форумы и др.), необходимо поддерживать обратную связь с обучаемыми, в случае дистанционного обучения – создавать эффект присутствия и интерактивности процесса обучения, вовлекать в работу с материалом одновременно нескольких участников.

Для обеспечения эффективности использования инструментов электронного образования целесообразно применение динамических интерактивных сайтов.

Динамические сайты – это те сайты, в которых веб-страницы генерируются или формируются (создаются динамически) в процессе исполнения запроса пользователя. Динамические сайты бывают двух типов. В первом типе сайтов веб-страницы генерируются или формируются из данных, хранящихся на сервере в базе данных. Во втором типе сайтов веб-страницы генерируются на стороне клиентского приложения (в браузере).

Для создания (разработки) и сопровождения динамических сайтов используют CMS (Content Management System) – Систему управления сайтом, которую называют движком сайта. В настоящее время популярными системами управления являются Drupal, Joomla и WordPress. На основе этих CMS можно создавать функциональные и легко управляемые PHP-сайты. Движки для Drupal, Joomla и WordPress являются бесплатными. Средства разработки сайтов обеспечивают разделение содержательной части (контента) от дизайна (шаблона веб-страницы), что позволяет изменять содержание веб-страниц, не затрагивая их дизайна, и изменять шаблон сайта, не затрагивая содержания его страниц.

Система управления содержимым (Content management system, CMS) – это программа или система, используемая для обеспечения и организации совместного процесса создания, редактирования и управления текстовыми и мультимедиа документами (содержимым или контентом) веб-сайта. Эти программы облегчают управление содержимым сайта, все основные функции собираются в единый интерфейс управления, что облегчает администрирование сайта.

Как уже выше указывалось, в настоящее время наиболее популярным движком, имеющим повсеместное распространение, является Joomla! Система управления содержимым (CMS) Joomla! написана на языках PHP и JavaScript и использует в качестве хранилища базы данных MySQL, а начиная с версии 2.5 и MsSQL Joomla! является свободным программным обеспечением, распространяемым под лицензией GNU GPL.

CMS Joomla! включает в себя различные инструменты для разработки веб-сайта. Важной особенностью системы является минимальный набор

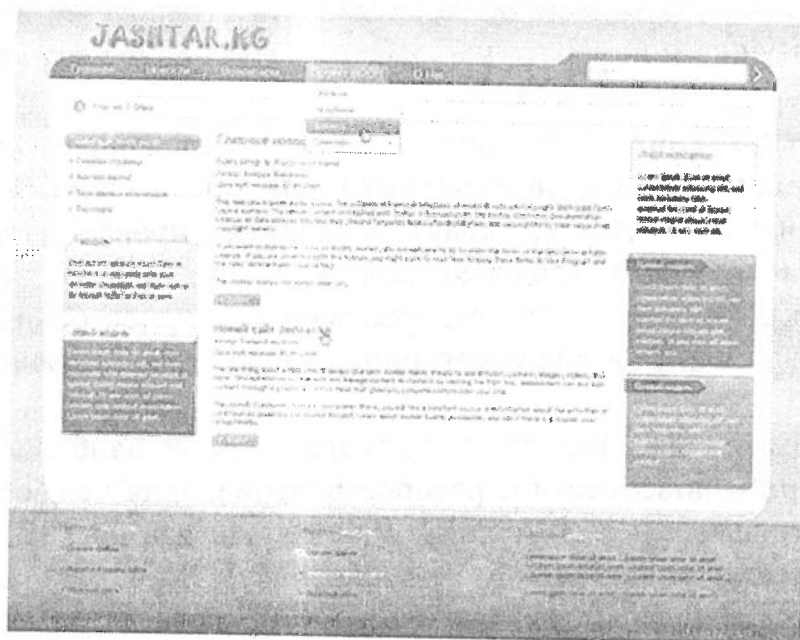
инструментов при начальной установке, который дополняется по мере необходимости. Это снижает загромождение административной панели ненужными элементами, а также снижает нагрузку на сервер и экономит место на хостинге.

Если для пользовательских целей нужен сайт со сложным функционалом, то можно столкнуться с ситуацией, что для какого-то движка такой функционал еще не разработан. Что касается Joomla!, то этот движок лидирует по количеству разработанных для него дополнительных приложений: модулей, компонентов и плагинов, позволяющих расширить функциональные возможности простого сайта. Кроме того, веб-сайты на CMS Joomla! – самые надежные в смысле безопасности по сравнению с другими стандартными CMS.

Этот движок имеет множество модулей: форумы, гостевые книги, почтовые рассылки, контакты, опросы, формы регистрации, формы поиска, систему обмена сообщениями между пользователями сайта и другие компоненты, которые превращают сайт из средства информации в средство коммуникации.

Созданный с применением такого инструмента, как Joomla!, веб-сайт в качестве обучающего Интернет-ресурса будет местом активного обмена информацией между пользователями Интернета (студентами и преподавателями). На такой сайт пользователи могут самостоятельно добавлять электронные учебные материалы, статьи, фотографии, видео, бесплатно скачивать образовательные ресурсы, т.е. пользователи имеют возможность обмениваться данными с сервером. Кроме того, студенты через опросы могут оценивать работу преподавателей, высказывать свое мнение по различным вопросам, общаться между собой, т.е. участвовать в интерактивном диалоге.

Ниже расположен скриншот главной страницы веб-сайта Jashtar.kg, разработанного с использованием CMS Joomla!



В настоящее время на основе CMS Joomla! ведется работа по проектированию и созданию веб-сайта Национального Комитета по теоретической и прикладной механике КР.

Список литературы

1. Колесниченко Д.Н. Joomla! 1.5. Руководство пользователя. – М.: Диалектика, 2009. – С. 224
2. Хаген Граф. Создание веб-сайтов с помощью Joomla! 1.5 (Building Websites with Joomla! 1.5.) – М.: Вильямс, 2009. – С. 304.
3. <http://www.joomla.org/>
4. <http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Joomla>

УДК 43

А.И.Бийбосунов, Ж.Исманова, Н.А.Садыкова

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Система Физтеха – Московского физико-технического института (МФТИ) – формировалась в трудные для советской страны послевоенные годы. Она была предложена рядом крупных ученых, работавших на оборонную промышленность. Главной целью такой высшей подготовки было выпускать поколения высококвалифицированных кадров. В первую очередь, конечно, для военно-промышленного комплекса (ВПК). Дальнейшему совершенствованию системы Физтеха способствовало и появление в 50-60-е годы прошлого столетия космонавтики. Все новейшие, передовые технологии, которые создавались лучшими учеными мира, практически сразу становились предметом изучения студентов МФТИ. Эта система и получила общепринятое в народе название “система Физтеха”.

Суть этой уникальной методики в том, что не важно, кого готовит вуз или отдельный факультет, главное, что первые три года идет подготовка по базовым знаниям: математике и физике. А уже начиная с третьего курса студенты получают практические навыки, проводя половину учебного дня на предприятиях, в НИИ, лабораториях, где идет практическое освоение полученных навыков. Таким образом, научно-инженерные кадры воочию могли видеть эффект внедрения достижений фундаментальной науки в современные технологии. Более того, студенты не просто практически осваивали будущие специальности, но и работали на этих базах, получая, пусть и небольшие, деньги за свой труд.

В систему такой подготовки МФТИ заложены три взаимосвязанных элемента. Отбор будущих студентов институт целенаправленно и систематично

проводил среди талантливых школьников по всей стране. Учащиеся получали на первых трех курсах общетеоретическую подготовку по физико-математическим дисциплинам и иностранному языку. Помимо того что, начиная с третьего курса обучения будущий специалист получал профессиональную подготовку по выбранной специальности, он непосредственно трудился в лабораториях и научных центрах страны.

Если говорить о первоначальной теоретической, базовой подготовке, то там не просто очень высокие требования. В учебной программе по каждой из теоретических дисциплин разрабатывались и постоянно обновлялись задачи. Решая их, студент был обязан не только и не столько продемонстрировать свои теоретические знания или технические навыки, полученные на лекциях, но, главным образом, показать уровень своего логического мышления, умение применять глубинные основы технологии поиска правильного, как правило, нетривиального решения. Каждый студент должен самостоятельно выполнить 80-100 экспериментальных лабораторных работ различной сложности по всем ключевым разделам классической и современной физики и другим дисциплинам.

Экспериментальный практический полигон, где эффективно отработывалась подготовка элитных научно-инженерных кадров, конечно, немыслим без применения в практике обучения передовых технологий и последних разработок научной мысли. Именно это и было надежной гарантией высокого уровня квалификации будущих специалистов. Самостоятельное изучение реальных физических процессов, например, на экспериментальной установке, изучение методики, знакомство с устройствами, проведение измерений, анализ результатов с применением компьютерных технологий – все это формирует у студента особое мировоззрение, культуру научного мышления, свободного от догм. Соответственно и к преподаванию на системной основе естественнонаучных дисциплин привлекались ведущие ученые, основным местом работы которых были научные учреждения Академии наук и исследовательские центры.

Признано, что высшее образование в нашей стране не отвечает потребностям времени, в основном оно некачественно: очень много вузов, но мало хороших специалистов. Система образования оторвана от экономического контекста развития как Кыргызстана, так и региональных и мировых тенденций. Как и многие государства СНГ, мы стали пленниками количественного подхода при формировании высшего образования и преимущественно гуманитарного направления. Отсутствует понимание того, что образование является фактором развития экономики. В этой связи полагаем важным для создания основы успешного развития технического, инженерного образования взять за основу модель Физтеха. Напомним ее ключевые элементы:

- 1) подготовка студентов по специальности проводится непосредственно научными работниками базовых институтов на техническом оборудовании этих учреждений;

2) подготовка в базовых институтах предусматривает индивидуальную работу с каждым студентом;

3) каждый студент должен участвовать в научной работе начиная с третьего-четвертого курса;

4) по окончании института студент должен владеть современными методами теоретических и экспериментальных исследований, иметь достаточные инженерные знания для решения современных технических задач;

5) система Физтеха не только идеально подходила для университета в составе научного центра, но была единственно возможной.

Гибкость и приспособляемость к ситуации, по существу, также является неотъемлемой чертой системы Физтеха. Правда, раньше приходилось, в основном, следовать за изменениями в научной сфере, а теперь резко меняется общая обстановка в стране. Сегодня явно сузилась потребность в научных кадрах, но существенно расширяются области, требующие, по существу, научного подхода: ориентировки в нестандартных ситуациях, использования строгих аналитических методов, самостоятельного переобучения, творческой инициативы. Развитие этих навыков фактически и дает образование, основанное на такой системе.

Реальность, как всегда, далека от идиллии. По многим вопросам не было единства внутри научного сообщества. Даже при общем согласии с формулой системы Физтеха, предполагающей для выпускника: серьезный научный фундамент (общенаучную ориентацию), практические навыки профессионального исследователя, стремление и умение постоянно самообучаться, – на практике возникают расхождения при определении веса каждой составляющей.

Внедрение системы обучения на основе «физтеховской» несет ряд очевидных преимуществ:

- подготовка конкурентоспособных, высококвалифицированных кадров;
- вклад в реформирование системы высшего образования Кыргызстана;
- помощь в подготовке и «омоложении» научных кадров для системы Национальной академии наук КР, создание предпосылок для ее реформирования.

В Кыргызстане есть ряд выпускников этого легендарного вуза, которые могут своей жизнью подтвердить практическую целесообразность этой продуманной и системной подготовки. Экономика, инвестиционная деятельность, дипломатия, практическое производство – все одинаково рационально можно воплощать в жизнь, если ты владеешь логикой процесса, если у тебя за спиной эффект Физтеха. В условиях нашей страны мы вполне могли бы применить такую подготовку, в частности, на базе Кыргызского национального университета или же Кыргызского технического университета. Скажем, в энергетической, горно-геологической отрасли, на тех же оборонных предприятиях страны, но поставив, конечно, это на системную основу. Безусловно, необходимо отрегулировать спрос и предложение на рынке

высококвалифицированных инженерно-технических кадров страны. Однако надо заметить, что такая подготовка применима не только к инженерной, но и к любой другой специальности.

Список литературы

1. www.mipt.ru
2. Кудрявцев Н.Н., Сон Э.Е. По материалам статьи «Сергей Христианович: «Можно писать детектив о том, как мы создавали Физтех» //За науку. – № 1810 от 31.10.2008 г.

УДК 43

Р.Табышов, Н.А.Садыкова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ

Использование информационных технологий в обучении в наше время имеет огромное значение благодаря новым возможностям. XXI век – век информатизации – несомненно, вносит свои коррективы в традиционное преподавание иностранных языков. И наша задача – научиться правильно и эффективно использовать современные информационные технологии в образовательном процессе. В конце XX века многие основные методические инновации были связаны с применением интерактивных методов обучения, которые, прежде всего, заключались в диалоговом обучении. В ходе обучения осуществлялось взаимодействие преподавателя и студента, целью которого была способность находиться в режиме беседы и диалога с чем-либо (например, компьютером) или кем-либо (человеком). В данной статье мы рассмотрим «интерактив» как специальную форму организации познавательной деятельности с помощью компьютера. К примеру, во всех сферах американского высшего образования в 90-е годы произошло бурное развитие информационных технологий. Большинство университетских городков и целые системы высшего образования штатов «подключались к сети», целые библиотеки стали работать в режиме «онлайн», профессора и студенты стали общаться с помощью электронной почты. Уже в 80-е годы в десятках университетов каждый студент и преподаватель имел свой собственный компьютер и страницу в Интернете. Расходы на технические средства обучения составили 16 млрд долларов, а в течение следующих нескольких лет эта цифра удвоилась. При этом тщательно исследовалось воздействие всего этого процесса на методы преподавания и на характер работы студентов и преподавателей в целом. Существовало двоякое мнение, которое отражалось в различных американских образовательных журналах. Были люди, чрезвычайно обеспокоенные этим. «Устранение из процесса обучения контактов между

людьми может привести к катастрофическим последствиям», – утверждала Генеральный секретарь Американской ассоциации преподавателей Мэри Берген /3/. По ее мнению, существовала опасность того, что администраторы станут рассматривать технологию как «дешевое средство быстрого решения» сложных проблем высшего образования (из журнала «Chronicles of Higher Education»). Но были и такие, кто радовались подобному развитию событий. Некоторые представители профессорско-преподавательского состава, заглядывая в будущее, утверждали, что новые технологии возьмут на себя многие обязанности, которые выполняются преподавателями. «Интернет помогает общественному движению за обучение на дому и в то же время трансформирует его» (из журнала «Cyber Times») /3/. Они считали, что в результате применения подобных технологий повысится эффективность процесса обучения. По их мнению, студенты только выиграли бы от того, что преподавателя частично заменили бы программное обеспечение, компьютерное оборудование и другие современные технические средства. Эта технологическая революция обеспечила возможность еще одного процесса по всему миру: огромного роста заочного образования.

Теперь предлагаются учебные курсы в режиме «онлайн», возможность общения преподавателя и студентов с помощью электронной почты, а техника, трансформирующая классные комнаты, начала изменять и систему высшего образования. Многие университеты по всему миру уже давно организуют преподавание курсов по сети Интернет.

Стремление прогрессивных педагогов удовлетворить возрастающие потребности в образовании путем использования возможностей новых информационных технологий открывает широкие перспективы в педагогической области. Использование новых информационных технологий в учебно-педагогическом процессе представляет, по мнению специалистов, качественно новый этап в теории и практике педагогики. Это не только новые технические средства, но и новые формы и методы преподавания, новый подход к процессу обучения. Основной целью обучения иностранным языкам является формирование и развитие коммуникативной культуры студентов, обучение практическому овладению иностранным языком.

Желание учиться в широком смысле этого слова – это, прежде всего, осознание важности этой деятельности для всей дальнейшей жизни человека, осмысление зависимости успеха, благополучия от качества приобретаемых знаний, умений, навыков, соответственно осознанная в них потребность. Это также овладение любым видом деятельности только лишь в результате активных действий обучающегося в данном виде деятельности, что связано также с фактором самостоятельности. Образовательная деятельность должна быть личностно-ориентированной, т.е. дифференцированной с учетом различных свойств и качеств личности. По мнению ряда специалистов, личностно-ориентированное обучение предполагает, прежде всего, смену парадигмы образования. В наши дни приоритет «сдвинут» в сторону обучающегося. Старая парадигма образования: обучающий – информация –

обучающийся постепенно заменяется на новую: обучающийся – информация – обучающий. При этом последний приобретает новый статус, не менее значимый, но иной. Задача обучающего – организовать познавательную (когнитивную) деятельность обучающегося, научить его самостоятельно добывать знания, свободно ориентироваться в них, применять полученные знания на практике, формировать собственное мнение, использовать ранее полученные знания для получения новых знаний в качестве основы. Внедрение современной компьютерной техники и средств передачи информации в различные сферы человеческой деятельности привело к появлению принципиально новых способов осуществления этой деятельности. Эти способы, основанные на широком использовании уникальных возможностей компьютерной техники по обработке, хранению и предоставлению информации, объединены в понятие «новые информационные технологии». Современные методики, такие, как обучение в сотрудничестве, методика с использованием НИТ и Интернет-ресурсов, помогают реализовать личностно-ориентированный подход в обучении, обеспечивают индивидуализацию и дифференциацию обучения с учетом способностей, уровня владения языком, склонностей и т.д.

Использование компьютера на уроке чаще всего сводится к применению компьютерных обучающих программ. Они выступают как вспомогательное средство при обучении произношению, устной речи, чтению, письму, при обработке и закреплении грамматического материала. Разнообразие тем, красочность, оперативность и доступность информации компьютерных обучающих программ вызывают огромный интерес у обучающихся.

Подготовка и проведение нетрадиционных занятий меняет установившиеся функции преподавателя и студентов. Нетрадиционный урок предлагает активное участие студентов уже на этапе проектирования занятия, т.е. на этапе, который всегда считается «преподавательским». Преподаватель вместе со студентами разрабатывает сценарий занятия, определяет круг вопросов, которые будут рассматриваться на нем, распределяет поручения между студентами. На этапе реализации проекта, т.е. непосредственно на занятии, степень участия студентов еще в большей мере возрастает. Новый тип занятий дает наибольшие возможности для развития активности и самостоятельности студентов на различных этапах учебного процесса, превращая их в активных субъектов учебно-познавательной деятельности. Нетрадиционные уроки позволяют превратить студентов в добровольных и заинтересованных соратников, единомышленников преподавателя, равноправных участников педагогического процесса.

Существуют следующие формы работы с компьютерными обучающими программами на уроках иностранного языка:

1. Изучение лексики.

При введении и обработке тематической лексики, например, покупки, продукты питания, одежда и т.д.

2. Отработка произношения.

Многие обучающие программы предусматривают режим работы с микрофоном. После прослушивания слова или фразы студент повторяет за диктором, и на экране появляется графическое изображение звука диктора и студента, при сравнении которых видны все неточности.

3. Обучение диалогической речи.

1-й этап – знакомство с диалогом.

2-й этап – разучивание диалога.

3-й этап – инсценирование диалога.

4. Обучение письму.

Этот вид работы решает сразу две задачи: правильное написание иностранных слов и освоение клавиатуры.

5. Отработка грамматических явлений.

Все обучающие компьютерные программы, так или иначе, предусматривают отработку определенных грамматических структур.

Что касается возможности использования Интернет-ресурсов на уроках иностранного языка, глобальная сеть создает условия для получения любой необходимой преподавателями и студентами информации: страноведческий материал, новости молодежи в любой точке мира, статьи из газет и журналов, необходимая литература и т.д. Студенты могут принимать участие в тестировании, викторинах, конкурсах, олимпиадах, проводимых по сети Интернет, участвовать в чатах, видеоконференциях и т.д. Также они могут переписываться со студентами из других стран, обмениваться информацией по различным вопросам. Это может быть даже совместная работа или проект. Если в больших городах у учащихся есть возможность общения с носителями языка, просмотра фильмов на языке оригинала, участия в международных проектах, то в мелких населенных пунктах одной из самых серьезных проблем обучения иностранным языкам является проблема мотивации, так как о «живом» общении не может быть и речи. Эта проблема может быть решена с помощью Интернета: это и переписка по электронной почте, создание и проведение совместных телекоммуникационных проектов, публикации творческих и научных работ на образовательных сайтах, получение отзывов и откликов из любой точки мира. При этом расширяется общие знания и кругозор, возрастает заинтересованность в изучении не только языков, но и других предметов. Происходит интересное захватывающее общение в виде диалога двух или нескольких культур, затрагивающее страноведческий аспект. Исчезают языковые и культурные барьеры, отрицательный психологический момент, уменьшается чувство страха. Компьютер дает возможность индивидуализации процесса обучения. Каждый работает так, как он может, с остановками и паузами для обдумывания и исправления своих собственных ошибок. Он

получает объективную оценку знаний, самоутверждение, возможность подготовиться к экзаменам, участию в других видах конкурсов и олимпиад.

Цель обучения иностранному языку – это коммуникативная деятельность студентов, то есть практическое владение иностранным языком. Задачи обучающего – активизировать деятельность каждого обучающегося в процессе обучения, создать ситуации для их творческой активности. Это и возможность получения самообразования на курсах бесплатного и платного дистанционного обучения, что требует не только высокого уровня владения иностранным языком, но особого вида подготовки. Например, как правило, при выполнении тестов при поступлении в высшее учебное заведение или участии в конкурсах или олимпиадах устанавливается строгий лимит времени. Участие в проектах, связанных непосредственно с иностранным языком, расширяет лингвистический и образовательный кругозор, формирует личность, способную свободно ориентироваться и активно существовать в мире информации. Умение работать с колоссальным информационным потоком является сегодня совершенно необходимым для специалистов в любой области.

Как видим, достоинств у компьютерного обучения немало, но нельзя и злоупотреблять компьютеризацией. Необходимы критерии полезности применения конкретной технологии в образовании: та или иная учебная компьютерная технология целесообразна, если она позволяет получить такие результаты обучения, какие нельзя получить без применения этой технологии. При правильном, разумном и творческом применении компьютер может стать полезным и необходимым средством не только для обучения иностранным языкам, но и для привития студентам новой культуры учебы.

Список литературы

1. Коростылева Л.А., Советова О.С. Психологические барьеры и готовность к нововведениям. – М., 1996.
2. Баранов А.Н. Введение в прикладную лингвистику. – М., 2001.
3. США: Общество и ценности. Том 2. Электронный журнал информационного агентства Соединенных Штатов. Образование в Соединенных штатах: традиции и перемены. Номер 4. 1997.
4. Шафрин Ю.А. Информационные технологии. – М., 1998.
5. Абазов З.А. Нетрадиционные уроки как педагогическая инновация /, Инновации в образовании. – 2003. – № 3.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ГОСУДАРСТВОМ

Формирование молодого поколения происходит сегодня в условиях быстро меняющегося мира. Общество часто называют информационным, а изменения в нем – информационной революцией. Благодаря стремительному развитию компьютерных технологий становится реальностью то, что казалось невероятным несколько лет назад, – люди разных стран имеют доступ к самой разнообразной информации в любой точке планеты, обмениваются информацией друг с другом и даже общаются в реальном режиме времени.

Использование многофункциональных возможностей компьютерной техники при подготовке молодых специалистов делает образовательный процесс в вузе интересным и доступным. В связи с появлением на рынке новых ИТ, новых типов ЭВМ меняется и программное обеспечение. В курсе «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» рассматривается использование Интернет-технологий по теме «ЭЛЕКТРОННОЕ ПРАВИТЕЛЬСТВО РК» следующие основные вопросы:

Развитие электронного правительства в Казахстане

- На чем основывается Законодательство Республики Казахстан и из чего оно состоит?
- Что гарантирует гражданам Республики Казахстан государство?
- Как именно должны быть организованы информационные ресурсы государства в сети, чтобы удовлетворять потребности граждан?
- Какой должна быть цель создания правительственных сайтов или порталов, их основная функция?
- Чем отличается правительственный (городской, областной) портал от просто сайта администрации?

Целью является введение основных звеньев повышения эффективности функционирования экономики и государственного управления, формирование квалифицированных пользователей в области высоких технологий.

Задачи обучения: знакомство с основными направлениями успешного внедрения электронного правительства в Казахстане; мерами, направленными на снижение информационного неравенства и основными услугами электронного правительства в соответствии с государственной программой формирования ЭП (электронное правительство) в РК /1/.

В 2003 году 7 января в Республике Казахстан были заложены законодательные основы е-правительства, принят закон “Об электронном документе и электронной цифровой подписи”. В целях создания нормативной правовой основы для внедрения “электронного правительства” в стране были разработаны новые законопроекты “Об информатизации” и “О внесении

дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам информатизации”.

Основной целью разработки данных законопроектов являлось установление правовых основ формирования “электронного правительства” и оказания электронных услуг. Целью мероприятий этого направления является создание правовых предпосылок для широкого использования ИКТ (информационно-коммуникационных технологий) во всех сферах общественной жизни, в экономике, во взаимоотношениях органов государственной власти и местного самоуправления с гражданами и организациями. Мероприятия данного направления обеспечили создание правовых предпосылок для широкого использования ИКТ во всех сферах деятельности и общественной жизни. Это:

- обеспечение права каждого на получение информации из общедоступных информационных систем;
- создание условий для использования документов в электронной цифровой форме в государственном управлении и гражданско-правовой сфере;
- обеспечение единства информационного пространства на территории Казахстана, ликвидация региональных и ведомственных барьеров на пути распространения информации.

Основные задачи этого направления расширение объема информации и перечня информационных услуг, предоставляемых гражданам и хозяйствующим субъектам органами государственной власти и органами местного самоуправления, формирование механизма общественного контроля их деятельности /2/. Использование ИКТ в работе органов государственной власти позволило расширить объем открытой информации о деятельности этих органов и обеспечило гражданам возможность ее оперативного получения из информационных систем, в том числе по таким важным вопросам, как законопроектная деятельность, бюджетный процесс, закупки продукции для государственных нужд, управление государственной собственностью, конкурсное замещение вакантных должностей.

Для успешного внедрения электронного правительства в любой стране нужно:

- 1) создание электронных порталов;
- 2) создание доступных компьютеров для населения;
- 3) создание условий для появления доступного Интернета;
- 4) забота о компьютерной грамотности людей.

Создание правительственных порталов – эффективный способ организации, поиска и предоставления людям информации, которую они хотели бы получить или которая им необходима для выполнения своих задач просто и быстро. Технологический термин «портал» означает создание удобного в использовании сайта, «единого входа», принцип работы которого заключается в том, что при необходимости решения какой-либо проблемы или удовлетворения каких-либо потребностей граждане получают быстрый и простой доступ ко всей нужной информации, ко всем необходимым ресурсам и

интерактивным сервисам /3/. Экономический эффект от создания государственных порталов:

1. Сокращение затрат на бумагу и печать документов, экономия рабочих площадей (хранение электронных документов требует на порядок меньше места), снижение затрат на оплату телефонных переговоров и почтовых отправок (документы могут быть размещены в Интернете или переданы по электронной почте).

2. Сокращение затрат времени на выполнение типовых операций, к которым относятся поиск информации, подготовка справок, отчетов, подготовка решений, телефонные переговоры, прием посетителей, исправление ошибок и разбор конфликтных ситуаций (для служащих, связанных с приемом граждан, может достигать 75 % рабочего времени).

3. Сокращение бюджетных расходов на проведение мероприятий, связанных с официальными уведомлениями, обязательным распространением нормативных материалов, изменением форм документов, разъяснительных и иных PR-мероприятий, направленных на обеспечение поддержки гражданами решений и позиции органов власти.

4. Повышение эффективности процесса осуществления государственных закупок.

Вышеперечисленное складывается в повышение эффективности работы учреждения, что также может выражаться в повышении числа обработанных заявлений, повышении собираемости налогов и т.д.

Портал может иметь следующую программно-аппаратную архитектуру (в общем случае она такая же, как и у портала крупного предприятия):

- кластер компьютеров (или один компьютер), имеющих постоянное, скоростное соединение с Интернетом;
- многопользовательская, многозадачная серверная операционная система;
- веб-сервер;
- сервер приложений со встроенными элементами бизнес-логики;
- СУБД для хранения документов портала и другой информации;
- система управления контентом, позволяющая служащим, не являющимся специалистами в информационных технологиях, публиковать документы быстро и качественно, а также поддерживать их актуальность;
- сервер интеграции приложений (шлюз).

Портал электронного правительства Республики Казахстан (www.e.gov.kz) работает с 12 апреля 2006 года и предлагает более 900 информационных услуг гражданам и бизнесу. При этом информационные услуги реализуются на портале сразу на трех языках: казахском, русском и английском. С помощью портала в Казахстане осуществляется оптимизация информационного оборота в системе государственного обслуживания граждан и организаций, решается задача обеспечения полноты и целостности информационного восприятия гражданами действий правительства /2/.

Пользователи веб-портала разделяются на две категории:

Посетители-пользователи данной категории могут просматривать все страницы веб-портала, но не имеют доступа к персональным страницам.

Зарегистрированные пользователи – для получения доступа к персональной странице необходимо пройти процедуру регистрации на веб-портале. Персональная страница позволяет гражданам воспользоваться сервисами электронной почты, календарного планирования, рассылки, контактов и др.

С помощью портала в Казахстане осуществляются оптимизация информационного оборота в системе государственного обслуживания граждан и организаций, решается задача обеспечения полноты и целостности информационного восприятия гражданами действий правительства. В состав участников проекта веб-портала “электронного правительства” вошли все государственные органы, а также ряд частных компаний, оказывающих услуги гражданам и бизнес-структурам.

Веб-портал “электронного правительства” является практическим механизмом реализации концепции предоставления государственных услуг по принципу “одного окна”. Главной целью его создания стало предоставление единой точки доступа к электронным услугам государственных органов исходя из потребностей граждан и бизнес-структур.

С целью максимального облегчения поиска и получения необходимой информационной услуги гражданам предложен весьма любопытный принцип их группировки: информационные услуги сгруппированы на веб-портале в соответствии с основными жизненными циклами человека: детство, учеба, юность, семья, работа, старость и бизнес-циклами предприятия: планирование, открытие, ликвидация. Помимо информационных услуг на портале реализован ряд сервисов: “Электронная почта”, “Сервис контактов”, “Сервис календарного планирования”, “Сервис подписки”. Был реализован персональный раздел – Мой портал, предназначенный для зарегистрированных пользователей, где они могут воспользоваться сервисами электронной почты, контактных данных, календарного планирования, виртуальной приемной. Для того чтобы воспользоваться персональными сервисами, необходимо зарегистрироваться, при этом в качестве идентификатора указывается индивидуальный идентификационный номер, который сверяется с информацией, хранящейся в государственной базе данных “Физические лица”. На портале также существует сервис виртуальной приемной, предназначенный для приема обращений граждан в государственные органы. Данный сервис требует наличия средств электронно-цифровой подписи, которые могут быть предоставлены каждому желающему гражданину. Применение электронной цифровой подписи гарантирует целостность и авторство данного запроса. Гражданам предоставлена возможность отслеживания пути прохождения запросов по инстанциям, статуса запроса и конечного результата. Еще одной важной задачей при реализации проекта веб-портала стала организация качественной службы, обеспечивающей своевременную актуализацию информационных ресурсов. Для этого был создан Редакционный совет, в

который входят представители всех государственных органов, суммарно обладающие знаниями о деятельности государственного органа и имеющие компетенцию для сбора и предоставления материалов. Редакционный совет на постоянной основе ведет работу по анализу функций государственных органов, изучению текущего законодательства, событий, происходящих в различных сферах жизнедеятельности, и публикует на веб-портале.

Для реализации е-правительства недостаточно лишь разработать программу его внедрения. Нужно готовить людей, которые, владея компьютерной грамотностью и имея доступ к ИКТ, смогут взаимодействовать с е-правительством в любой географической точке страны.

Примерный набор услуг электронного правительства

В этом разделе приведены наиболее актуальные услуги ЭП. Перечень электронных услуг не полный, он открыт для дополнения по мере возникновения потребностей пользователей и готовности государственных органов к предоставлению новых услуг. При определении перечня электронных услуг должна быть разработана система классификации, позволяющая в дальнейшем составить поэтапный план реализации услуг, а также осуществить их типизацию.

Электронные услуги, реализуемые через портал ЭП, могут быть условно разбиты на следующие категории:

- налоговые и таможенные обязательства;
- предпринимательство и бизнес;
- экономика и торговля;
- оборона, национальная безопасность и управление в чрезвычайных ситуациях;
- охрана окружающей среды;
- культура, спорт, туризм и информационное пространство;
- дипломатия и международные связи;
- для граждан;
- для бизнеса;
- для госслужащих и ведомств.

Реализация ЭП – это совокупность масштабных и сложных задач, требующих консолидации разнообразных усилий, включая проектирование и создание единой архитектуры ЭП. Чтобы обеспечить предпосылки для успешной реализации проекта ЭП, необходимо уже на начальной стадии планирования предусмотреть и принять административные и политические решения, приведенные ниже.

Отечественная ИКТ-отрасль никогда ранее не решала таких социально значимых, технически сложных, ответственных, наукоемких и ресурсоемких задач, как задача построения ЭП в Республике Казахстан. Для достижения намеченных целей необходимо мобилизовать все национальные ИКТ-ресурсы страны. Построение ЭП в Республике Казахстан требует координации

разработки и реализации крупномасштабных ИКТ-проектов со стороны государства.

Группа управления проектом на базе ЗАО «Национальные информационные технологии» создает секторы рабочей группы по направлениям проекта:

- стандартизация в сфере информационно-коммуникационных технологий и подготовка соответствующей правовой базы;
- формирование и развитие национальной идентификационной системы;
- определение электронных услуг правительства и интеграция информационных систем;
- формирование Web-портала «электронного правительства»;
- формирование единой транспортной среды и организация доступа к сети Интернет;
- организация защиты информации и развертывание инфраструктуры открытых ключей;
- ликвидация информационного неравенства /2/.

Формирование и развитие е-услуг государственных органов

Информатизация деятельности государственных органов с учетом требований е-правительства планирует переход от ориентации на внутриведомственные нужды к ориентации на нужды и задачи граждан и организаций. Формирование и реализация е-услуг государственных органов будут осуществляться в рамках создания и развития ведомственных информационных систем.

Формирование е-услуг государственных органов будет осуществлено на основе проведения функционального анализа регламентов оказания государственных услуг и осуществления административных процессов. По результатам проведенного анализа планируется выработать предложения по модернизации системы государственного управления и реализации административных процедур /4/.

Список литературы

1. Государственная программа формирования «Электронного правительства» в РК на 2005-2007 годы от 10.11.2004 г.
2. Государственная программа снижения информационного неравенства в РК на 2007-2009 годы от 13.10.2004 г.
3. Андропова О., Николаев А. Электронное правительство в Европе и мире. О. Андропова olga@ci.ru, А. Николаев, alnik@eureca.ru
4. Информационные ресурсы Интернет: www.e.gov.kz, www.aic.gov.kz, www.gov.kz, www.e-govcompetence.ru, www.neweco.ru, www.e-russia.ru, www.e-rus.ru, www.e-government.ru, www.e.gov.uz

МATHCAD СИТЕМАСЫНЫН ПРОГРАММАЛЫК ОПЕРАТОРЛОРУН ПАЙДАЛАНЫП ПРОГРАММА ТҮЗҮҮ

Mathcad системасында программалык операторлорду пайдаланып колдонмо маселердин программаларын түзүү мүмкүндүгүнө жетишүү азыркы замандын талаптары болуп саналат. Башкача сөз менен айтканда студенттер жана колдонуучулар дайыма эле шаблондорду пайдаланып эсептөө жүргүзбөстөн керек болгон жерлерде өздөрүнүн Mathcad системасындагы программаларды түзүүгө үйрөтүшүбүз актуалдуу малелерден болуп саналат.

Ошондой эле программалоо чеберчиликтерин өстүрүп аларды башка методдор менен алынган жыйынтыктар менен салыштырып анализ жасаганга үйрөтүү болуп эсептелинет. Mathcad системасында программалоо табигый тилге өтө жакын болгондуктан аны өздөштүрүү студенттер жана колдонуучулар үчүн өтө көп кыйынчылыктарды туудурбай. Бул койулган максаттарды ишке ашырыш үчүн адегенде програмамалык операторлордун баяндамалары жана анын төмөнкү аткарылыш эрежелери менен тааныштырабыз:

- **Add Line** – программалык блоктун оң жагындагы жоон тик сызыкты түзөт жана керек болсо аны узартат;
- **←** - локалдык(жергиликтүү) таандык кылуу символу;
- **For** – белгилүү сандагы кайталоосу бар циклди жаратуу оператору;
- **While** – кандайдыр бир берилген шарт аткарылмайынча кайталанып аткарыла берүүчү циклди жаратуу оператору;
- **Otherwise** – башкачараак тандоо оператору жана if оператору менен бирге колдонулат;
- **Break** – үзүү оператору;
- **Continue** - улантуу оператору;
- **Return** – кайра кайрылуу оператору;
- **On error** – катаны териштирип чыгаруу оператору;

Бул опреаторлор менен башка программалык тилдерди окуп - үйрөнүп жаткан учурларында жетишерлик деңгээлде тааныш. Болгону Mathcad системасындагы өзгөчөлүктөрүн эске алуусу керек.

Ошондуктан программалонун тармактык, циклдык мисалдарга карата программа түзүүдөн башташыбыз зарыл. Алынган жыйынтыктын тууралыгын көргөндөн кийин студенттер менен колдонуучуларга ишеним пайда болот.

Эми төмөнкү мисалдардын Mathcad системасындагы программасын түзүп көрсөтөлү.

Мисал 1. Төмөнкү тармактуу функцияны эсептөө программасын түзгүлө:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{эгерде } 0 \leq x \leq 1 \\ -x, & \text{эгерде } -1 \leq x < 0 \\ \sin(x), & \text{эгерде } x > 0 \\ \cos(x), & \text{эгерде } x < -1 \end{cases}$$

Mathcad системасындагы программасы:

$$f(x) := \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq x \leq 1 \\ (-x) & \text{if } -1 \leq x < 0 \\ \sin(x) & \text{if } x > 1 \\ \cos(x) & \text{if } x < -1 \end{cases}$$

Программанын аткарылыш жыйынтыгы:

$$f(0) = 1$$

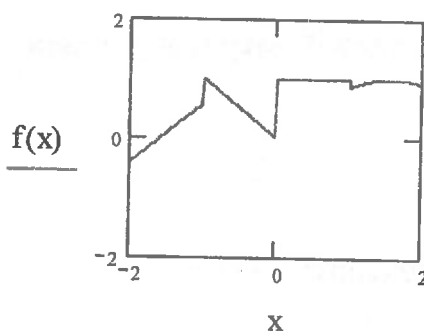
$$f(-2) = -0.416$$

$$f\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1$$

$$f(-0.5) = 0.5$$

$$f(0.5) = 1$$

Бул функциянын графиги төмөнкөдөй болот:



Мисал 2. Эми continue операторунун пайдаланып интервалдын ичиндеги функция нөлгө айландыра турган маанилеринин баардыгын аныктоодо колдонулушун карайлы. Адегенде (a, b) интервалын n бөлүккө бөлөбүз. Андан кийин кайсы бөлүгүндө функция былгисин өзгөртөрүн текшеребиз. Мындай ички интервал бар болсо, анда Ньютондун жаныма методдун ишке ашыра турган функцияны чакырабыз. Бул интервалдагы баштапкы мааниси болуп ошол интервалдын ортосундагы x - тин мааниси болот. Бул процесс бардык кички интервалдар текшерилип бүткөнгө чейин улантылат, анан эгерде тендеменин бир нече тамыры бар болсо.

Mathcad системасындагы программасы:

$$ff(x) := \left(x - \frac{1}{2}\right)(x+1)(x-2)$$

$$ffx(x) := \frac{d}{dx} ff(x)$$

```
Newton(x, ff, ffx) :=
    i ← 0
    while |ff(x)| > 10-6
        i ← i + 1
        (break) if i ≥ 10
        (return "0go bolunup kaldy" ) if |ffx(x)| < 10-6
        x ← x -  $\frac{ff(x)}{ffx(x)}$ 
    (return "iterasiyndun sany kop" ) if i ≥ 10
    (return x) otherwise
```

```
null(ff, ffx, a, b, n) :=
    ans ← 0
    for i ∈ 0..(n-1)
        x1 ← a +  $\frac{(b-a) \cdot i}{n}$ 
        xr ← a + (b-a)  $\frac{(i+1)}{n}$ 
        continue if ff(x1) · ff(xr) > 0
        x ←  $\frac{(x1+xr)}{2}$ 
        xnwans ← Newton(x, ff, ffx)
        ans ← ans + 1
    xnw
```

$$\text{null}(ff, ffx, -1, 3, 15) = \begin{pmatrix} -1 \\ 0.5 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Мисал 3. Алгебралык жана трансценденттик теңдемелерди хорда методу менен чыгаруу. Бул мисалда $\sin(x) - 1 + x = 0$ теңдемесин чыгарып көрсөтөлү.

Mathcad системасындагы программасы:

$$ff(x) := \sin(x) - 1 + x \quad a := 0 \quad b := 1$$

```
horda(a, b, ff) :=
    i ← 0
    while |ff(a)| > 10-6
        i ← i + 1
        (break) if i > 20
        a ← a - ff(a) ·  $\frac{(b-a)}{(ff(b) - ff(a))}$ 
    (return "iterasiynyn sany kop" ) if i > 20
    (return a) otherwise
```


$$X := \text{horda}(a, b, \text{ff})$$

$$X = 0.511$$

Бул мисалда $x - 1 - \sin(x) = 0$ теңдемесин чыгарып көрсөтүп программанын баардык мисалды чыгарууга колдонууга боло тургандыгын көрсөтөлү.

$$\text{ff}(x) := x - 1 - \sin(x) \quad a := 1 \quad b := 2$$

```

horda(a, b, ff) :=
  i ← 0
  while |ff(a)| > 10-6
    i ← i + 1
    (break) if i > 20
    a ← a - ff(a) ·  $\frac{(b - a)}{(\text{ff}(b) - \text{ff}(a))}$ 
  (return "iterasianyn sany kop" ) if i > 20
  (return a) otherwise

```

$$X := \text{horda}(a, b, \text{ff})$$

$$X = 1.935$$

Мисал 4. Эми тамырлар жаткан интервалдарды аныктап, андан кийин хорда методунун жардамы менен тамырларын табуу программасын тузөлү. Бул программада $(x - \frac{1}{2})(x + 1)(x - 2) = 0$ жана $\sin(x) - 1 + x = 0$ теңдемелердин тамырлардын табуу программасы көрсөтүлдү.

$$\text{ff}(x) := \left(x - \frac{1}{2}\right)(x + 1)(x - 2) \quad a := -1 \quad b := 3 \quad n := 50$$

$$\text{ff1}(x) := \sin(x) - 1 + x$$

```

horda(a, b, ff) :=
  i ← 0
  while |ff(a)| > 10-6
    i ← i + 1
    (break) if i > 20
    a ← a - ff(a) ·  $\frac{(b - a)}{(\text{ff}(b) - \text{ff}(a))}$ 
  (return "iterasianyn sany kop" ) if i > 20
  (return a) otherwise

```

```

nullhord(ff,a,b,n) :=
  ans ← 0
  for i ∈ 0..(n-1)
    [
      xl ← a + (b-a) · i / n
      xr ← a + (b-a) · (i+1) / n
      continue if ff(xl) · ff(xr) > 0
    ]
    xnwans ← horda(xl,xr,ff)
  ans ← ans + 1
  xnw

```

$$\text{nullhord}(\text{ff}, a, b, n) = \begin{pmatrix} -1 \\ 0.5 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$\text{nullhord}(\text{ff1}, a, b, n) = (0.511)$$

Колдонулган адабияттар

1. Дьяконов В.П. МATHCAD 2000. Серия Учебный курс. – СПб.: Питер, 2000. – 592 с.
2. Дьяконов В. Т. Mathcad 8/2000. – СПб.: Питер; 2000.
3. Плис А.И., Сливина Н.А. МATHCAD 2000. Математический практикум. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 656 с.
4. И.Арабаев атындагы КМУнун Жарчысы 2010ж.

УДК 612.8:681.5

Ф.С.Телгожаева, Л.А.Сагимбаева

ПАРАЛЛЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ И РЕАЛИЗУЕМОСТЬ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Быстродействие современных ЭВМ составляет около 100 Mflops (flops – операция с плавающей запятой в секунду). В мозгу содержится примерно 10^{11} нейронов /1-2/. Время прохождения одного нервного импульса около 1 мс, и можно считать, что производительность одного нейрона порядка 10

flops. Эквивалентное быстроедействие мозга составит $10^{11} \cdot 10 = 10^{12}$ flops. Если рассмотреть задачи, решаемые мозгом, и подсчитать требуемое количество операций для их решения на обычных ЭВМ, то получим оценку быстрогодействия до $10^{12} \dots 10^{14}$ flops. Разница в производительности между обычной ЭВМ и мозгом – 4...6 порядков! Чем это объясняется?

Во многом этот выигрыш обусловлен параллельностью обработки информации в мозге. Следовательно, для повышения производительности ЭВМ необходимо перейти от принципов фон Неймана к параллельной обработке информации. Тем не менее, параллельные компьютеры пока не получили распространения по нескольким причинам/

Тирания межсоединений. Каждый процессор в параллельной системе связан с большим количеством других. Количество связей занимает намного больший объем, чем сами процессоры. Такая плотность связей не реализуется в обычных интегральных схемах.

Трехмерность структуры связей между процессорами. Существуют различные типы связности процессоров в параллельной системе. Обычно требуются трехмерные связи /3/. Технологически такие связи тоже пока невыполнимы.

Сложность программирования. Пока не создано единых способов программирования параллельных ЭВМ и средств для написания программ.

Несмотря на перспективность параллельных ЭВМ и, в частности, нейронных сетей (НС), для их создания нет элементной базы. Поэтому вместо моделирования НС на параллельных машинах большая часть исследований проводится двумя способами:

- 1) моделирование НС на обычных последовательных ЭВМ;
- 2) создание специализированных нейроплат и нейропроцессоров для ускорения работы ЭВМ с нейронными сетями.

Первый способ дает проигрыш в быстроедействии даже по сравнению с обычной ЭВМ, а второй способ не позволяет переходить от одной модели нейросети к другой, так как модель определяется используемой нейроплатой или нейропроцессором, и требуется сменить нейропроцессор, чтобы сменить модель.

Попытки использовать оптические, химические, биологические и другие технологии для создания НС, несмотря на перспективность, пока не имеют практического применения.

Нейронные сети превосходят последовательные машины в решении тех же задач, в которых машину превосходит человек. Задачи, требующие большого объема вычислений или высокой точности, лучше выполняются обычной ЭВМ /4/.

К задачам, успешно решаемым НС на данном этапе их развития, относятся:

– распознавание зрительных, слуховых образов; огромная область применения: от распознавания текста и целей на экране радара до систем голосового управления;

- ассоциативный поиск информации и создание ассоциативных моделей; синтез речи; формирование естественного языка;
- формирование моделей и различных нелинейных и трудно описываемых математических систем, прогнозирование развития этих систем во времени: применение на производстве; прогнозирование развития циклонов и других природных процессов, прогнозирование изменений курсов валют и других финансовых процессов;
- системы управления и регулирования с предсказанием; управление роботами, другими сложными устройствами;
- разнообразные конечные автоматы: системы массового обслуживания и коммутации, телекоммуникационные системы;
- принятие решений и диагностика, исключаящие логический вывод; особенно в областях, где отсутствуют четкие математические модели: в медицине, криминалистике, финансовой сфере.

Уникальное свойство нейросетей – универсальность. Хотя почти для всех перечисленных задач существуют эффективные математические методы решения и несмотря на то, что НС проигрывают специализированным методам для конкретных задач, благодаря универсальности и перспективности для решения глобальных задач, например, построения ИИ и моделирования процесса мышления, они являются важным направлением исследования, требующим тщательного изучения.

Список литературы

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. — М.: Мир, 1992.
2. Мкртчян С.О. Нейроны и нейронные сети. (Введение в теорию формальных нейронов). — М.: Энергия, 1971. — 232 с.
3. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. — М.: Мир, 1985. — 509 с.
4. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 272 с.

УДК.371.3:62

Р.К.Конущбаева

КЕСИПТИК-ТЕХНИКАЛЫК ЛИЦЕЙЛЕРДЕ ФИЗИКА САБАГЫН ОКУТУУДА, МААЛЫМАТТЫК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ КОЛДОНУУ

XX кылымда, компьютерлердин жана маалыматтык коомдун түзүлүшүнүн негизинде, адамдардын өсүп-өнүгүшү күчөтүлдү. Илимдин жаңы багыттарын жаратууда, сактоодо, маалыматтарды берүүдө, аларды колдонууда,

компьютердик техника колдонулат. Алар илимий маалыматтарды берүүнүн методдору деп аталат. Белгилеп кетсек, 1980-жылдары өнүккөн өлкөлөрдө массалык компьютерлештирүү жүргүзүлгөн. Компьютерлештирүү: окуу процесстеринде, илимий маселелерди чечүүдө, изилдөөдө, ой жүгүртүүдө, коомдун өнүгүшүндө жана дүйнөнү таанып билүү процесстеринде чон таасирин тийгизет. Экономикалык, социалдык жана ар түрдүү илимий чыгармачылыктарды аткарууда маалыматтык технологиялар жардам берет. Адамдар маалыматтарды сезүү органынын жардамы менен да, алышат. Мисалы, Жер бетиндеги өсүмдүктөр менен жаныбарлардын, адамдардын тиричилиги үчүн чөйрөнүн жарык, температура жана нымдуулук сыяктуу компоненттеринин мааниси чоң. Күндүн нуру Жердеги бардык процесстердин энергиясынын негизги булагы болуп саналарын сезишет. Адам баласы ар кандай маалыматтарды алууда, физика илими анын ичинде физика предмети эң чон ролду ойнойт. Себеби, физика предмети эл чарбасынын бардык тармактарында колдонулат жана өндүрүштүн натыйжалуулугун жогорулатууга түздөн-түз таасирин тийгизет.

Биздин коомдун экономикалык, социалдык жактан өнүгүшүндө, кесиптик-техникалык окуу жайларынын эң негизги максаты, маселеси: билимдүү, квалификациялык жумушчу кадырларды даярдоодо, кесиптик-техникалык лицейдин бүтүрүүчүлөрү айыл-чарбасынын бардык тармактарында эмгектенип келишет. Биздин мамлекеттин оор жана жеңил өндүрүштөрүндө көптөгөн курулуш компанияларында, алар квалификациялык жумушчу кадырларынын негизги ядросун түзөт. Жумушчу адам бүгүнкү күндө билимдүү, сабаттуу, аң-сезими кең болуш керек, демек ал биздин коомго эң керектүү кесиптин ээси. Адамдын өзүнүн кесиби өзүнө жакса, бул кандай рахат, кубаныч алып келет. Эгер ал адамдын көнүлүнө жакпаса, кандай өкүнүчтүү күндөрдүн, жылдардын ээси болот. Кесиптик-техникалык окуу жайларынын негизинде биринчи корабльды ойлоп тапкан Королев С.П., анын окуучусу Гагарин Ю.А. космоско учкан. Азыркы мезгилде Кыргыз Республикасында көптөгөн кесиптик-техникалык окуу жайлары бар. Мисалы, алардын ичинен Бишкек шаарындагы №18 кесиптик-техникалык лицей «ашпозчу, официант-бармен жана тигүүчү» кесибине ээ болуучу окуучуларды даярдайт. «Ашпозчу, официант-бармен жана тигүүчү» кесибине ээ болуучу окуучуларда «атайын жабдууну таануу, аш таануу» сабактарын физика предмети менен байланыштырып өтүүдө маалыматтык технологияларды колдонсок, окуучулардын сабакка болгон кызыгуусун жогорулатат.

«Талаш-тартышта сот болууз» аттуу талкулоо программасы.

Программанын максаты: Группадагы балдардын арасында физикалык кубулуштарды, тажрыйбаларды талкулоодо, балдардын болгон кызыгуусун, логикалык ой-жүгүртүүсүн жогорулатат. Программалык контролдоодо окуучулардан мугалимге берген маалыматтарынын агымы эң жогору, ошондой эле ар бир окуучуну баалого болот. Баштоодон мурун, мугалим окуучуларга талаш-тартыштын шарттарын түшүндүрүп берет.

Талаш-тартышта сот болууз. Официант балдар.

Чай стаканынан суу ченөөчү түтүкчөгө чейин.

Биринчи окуучу: Стакандар чай куюудан мурда анын сынып калышынан сактанган тажрыйбалуу официанттар алардын ичине кашыкты өзгөчө күмүш кашыктарды салып коюуну унутпайт. Турмуштук бул тажрыйба туура жолду тапкан. Ал эмнеге негизделген?

Адегенде өзүбүзгө, эмне үчүн стакандар ысык суудан сынып кетерин түшүндүрөлү.

Экинчи окуучу: Себеби айнектин бирдей эмес кенейиши .Стаканга куюулган ысык суу анын бардык беттерин дароо эле ысытпайт:адегенде беттин ички катмары ысыйт,ошол учурда сырткы бети ысууга үлгүрбөйт.Ысыган ички катмар ошол замат эле кеңее баштайт,сырткы катмары өзгөрүүсүз калып,бул ички кеңейүүдөн күчтүү кысым алат да, жарака кетип айнек сынат.

Үчүнчү окуучу: Эгерде калың стаканды алсак, бул сыяктуу «күтүлбөгөн окуядан» кутулабыз деп ойлобогула. Калың стакандар бул жагынан эң чыдамсыз болушат:алар жука стакандарга караганда көбүрөөк сынышат.Бул түшүнүктүү: жука айнек бат ысыйт да, анда температура тезирээк теңелип кеңейүү бирдей болот, ал эми калың айнектерде катмарлары жай ысып, жогорудагыдай температуранын теңелиши жай жүрөт да, сынып кетет.

Төртүнчү окуучу: Жука айнек идишин тандоодо, бир нерсени унутууга болбойт: анын каптал жактары гана эмес түбү да жука болууга тийиш. Ысык сууну коюуда адегенде идиштин түбү ысыйт; эгерде түбү калың болсо, капталдары канчалык жука болгондугуна карабастан стакан сынып кетет. Түбүндө калың шакекче түрүндөгү кырбуусу бар стакандар жана фарфор чынылары тезирээк сынышат.

Бешинчи окуучу: Айнек идиши канчалык жука болсо, аны ошончолук ишенимдүү ысыта берсе болот. Химиктер өтө жука идиштерди пайдалып, анын сынып калышынан чочулабай эле ичиндеги сууну горелка менен кайнатышат.

Алтынчы окуучу: Албетте, ысытуудан кеңейбесе, ал идеалдык идиш болмок. Кварц айнекке караганда 15-20 эсе аз кеңейет. Тунук кварцтан жасалган калың идиш, канчалык ысытылса да сынбайт. Кыпкызыл болуп ысытылган кварц идишин анын сынып калышынан коркпой эле муздак сууга салууга болот.

Жетинчи окуучу: Стакандар бат ысытуудан гана сынбастан, бат муздатуудан да сынат. Себеби алар бирдей эмес кысылат: сырткы катмар муздоо менен жыйрылып кысылат жана муздап,кысылууга жетише элек ички катмарды куч менен кысат. Ошондуктан, ысык вареньеси бар банканы кескин суукка коюуга, муздак сууга салууга болбойт.

Сегизинчи окуучу: Стакандагы чай кашыкка кайра кайрылалы. Анын сынуудан сактап калуу аракети эмнеге негизделген?

Биринчи окуучу: Айнектин ички жана сырткы катмарларынын ысышынын кескин айырмаланышы стаканга өтө ысык сууну тез куюудан пайда болот: жылуу суу ысуунун кескин айырмасын, демек, айнектин ар канадай бөлүктөрүнүн тартылышын да пайда кылбайт. Жылуу суудан идиш сынбайт. Эгерде стаканга кашык салынса эмне болот?

Үчүнчү окуучу: Идиштин түбүнө тийген ысык суу, айнекти ысытуудан мурда (ал жылуулукту начар өткөрөт) өзүнүн жылуулугунун бир бөлүгүн жылуулукту жакшы өткөрүүчү-металлга берүүгө жетишет; суюктуктун температурасы төмөндөйт; ысык суу жылуу болуп, дээрлик зыянсыз болуп калат. Ысык чайды андан ары куюу стакан үчүн коркунучтуу болбой калат; анткени стакан бир аз ысыганга жетишип калат.

Башкача сөз менен айтканда, стаканга салынган металл кашыгы стакандын бир калыпта эмес ысышына, аны менен бирге анын сынышына жол бербейт.

Тогузунчу окуучу: Эмне үчүн күмүш кашык жакшы? Анткени күмүш – жылуулукту жакшы өткөрөт; күмүш кашыгы жез кашыкка караганда суудан жылуулукту тезирээк алат. Ысык чайдагы күмүш кашыгы колубузду кандай күйгүзө ысытаарын эстегилечи! Ушул белги боюнча силер кашыктын материалында адашпай аныктай аласыңар: жез кашыгы колду күйгүзө ысыбайт.

Айнек беттердин бир калыпта эмес кеңейиши стакандын сынбастыгына гана эмес, буу казанынын жоопту бөлүгү-казандагы суунун бийиктигин аныктоочу суу ченөөчү түтүкчөгө да коркунуч келтирет. Ысык суудан жана буудан ысыган бул айнек түтүкчөсүнүн ички катмары сыртына караганда көбүрөөк кеңеет. Бул себептен пайда болгон кеңейүүгө буунун жана суунун түтүктөрү чоң басымы да кошумча болот. Натыйжада ал жарылып кетиши мүмкүн. Аны болтурбоо үчүн суу ченөөчү түтүктү түрдүү сорттогу айнектен эки кабат кылып да жасашат: ички катмары сыртына караганда азыраак кеңейүү коэффициентине ээ болот.

«Талаш-тартышта сот болууз» аттуу талкуулоо программасын «тигүүчү» балдардын арасында дагы талкууланат.

«Талаш–тартышта сот болууз»

Ашпозчу балдар.

Биринчи окуучу: Адамдын кадыресе жошоо -тиричилигине канча жана кандай тамак–аштар камсыз кылынат?

Экинчи окуучу: Канча энергия сарпталса, ошончолук тамак–аш керектелет. Кандай гана тигил же бул жакка кыйшаюулар болбосун, адамдын ден соолугуна зыян келтирет. Биздин ашкананы калдыксыз технологиялуу ишканага айландырыш үчүн, үч эрежени сакташыбыз керек. Биринчиден, ашыкча жер–жемиш албайбыз, себеби кандай гана жол менен жер–жемишти сактабасак да, аларды сактоо мөөнөтү бар.

Экинчиден, бышырылган, даярдалган тамак–аштар (салат, сорпо ж.б.) үй–бүлөгө бир күндүк чакан даярдалышы керек.

Үчүнчүдөн, таштандыга таштаганга шашылба! Тамак–аштарды сактоонун көптөгөн жолдору, табышмактары бар.

Калдыксыз технология.

Үчүнчү окуучу: Каалагандай жашылчалардан тамак жасоого болот. Жашылчаны 10 – 12 минут дымдап, үстүнө томаттан же каймактан жасалган соусту куюуп, көк өсүмдүктөрдү сээп коебуз.

Төртүнчү окуучу: Кургап калган сырды эки жолу эт туурагычтан тоголок пияз менен чогу өткөзөбүз. Аралашма 20-30 минут турат. Кургап калган сырды пияздын согу жумшартат. Нандын үстүнкү бетине сүйкөп жей тургандай даамдуу, пайдалуу паста келип чыгат.

Бешинчи окуучу: Күрүчтү жуугандан кийинки же чылангандагы суусу, темирден жасалган приборлорду, фарфордон жасалган идиш-аяктарды тазалоодо эң пайдалуу.

Алтынчы окуучу: Күрүч бышкандагы сууну төкпөш керек, анда көптөгөн витаминдер бар. Муздагандан кийин үстүнө сабиздин, апельсиндин, лимондун согун же бал кошуп жиберсек, даамдуу, витаминдүү суусундук пайда болот.

Окуучулар: Ашпозчу, официант-бармен, тигүүчү.

Биздин ашкананы калдыксыз технологиялуу ашканага айландыруунун мисалдарында, ошондой эле «Талаш – тартышта сот болуңуз аттуу» талкулоо программасында биз төмөндөгүдөй физикалык кубулуштар менен тааныштык:

- ✓ Жаратылышты таанып билүү (байкоо, тажрыйба);
- ✓ Жылуулук кубулуштары (термодинамиканын закондору, суюктуктардын жылуулук сыймдуулугу, эрүү жана кайноо температурасы);
- ✓ Катуу телолордун кристалдык түзүлүшү, суюктуктардын жана катуу телолордун кеңейиши;
- ✓ Заттар жана телолор (заттын агрегаттык абалы, тыгыздык, заттардын түзүлүшү, жылуулук төкөрүмдүүлүк);
- ✓ Электр жөнүндө окуу ж.б.

Эмне үчүн учтуу нерселер тикенектүү?

Биринчи окуучу: Эмне үчүн ийне нерселерди оңой тешип өтүп кетет? - деген суроону жакшылап ойлоп көрдүнөр беле? Эмне үчүн сукнону же кардонду ичке ийне менен тешүү оңой, ал эми учсуз мык менен тешүү кыйын? Бул эки учурда тең бирдей эле күч менен аракет кылабыз.

Күчтөр бирдей, бирок басымдар бирдей эмес. Биринчи учурда бардык күч ийненин учуна топтолот; экинчи учурда-ошол эле күч андан чоңураак болгон аянтка-мыктын учунун аянтына бөлүштүрүлөт; демек ийненин басымы учтуу эмес стерженге караганда, биздин колубуздун бирдей аракетинде бир кыйла чоң болот.

Экинчи окуучу: Лыжалуу киши борпоң карда жүрө алат, ал эми лыжасыз киши карга батып кетет. Эмне үчүн? Анткени биринчи учурда анын денесинин басым күчү экинчи учурга караганда көбүрөөк аянтка туура келет. Эгерде лыжанын бетинин аянты биздин таманыбыздын аянтынан 20 эсе чоң болсо, анда жөн эле бутубуз менен кардын үстүндө турганга караганда лыжанын үстүндө туруп карга 20 эсе аз басым жасайбыз. Борпоң кар биринчи басымга туруштук берсе, экинчисине туруштук бере албайт.

Төртүнчү окуучу: 20 тиштүү мала ошондой эле салмактагы 60 тиштүү малага караганда айдоону көбүрөөк терең тырмап өтөрүн бардыгы эле билишет. Эмне үчүн? Анткени ар бир тишке болгон нагрузка экинчи учурга караганда биринчи учурда бир кыйла чоң.

Басым жөнүндө сөз болгондо, күч менен бирге, ал күч аракет кылган аянтты кошо эске алуу керек.

Бешинчи окуучу: Саздарда иштөөчү аттардын буттарынын таяныч аянтын чоңойтуу, демек, саздак жерге жасалган басымын азайтуу үчүн алардын туяктарына атайын «башмактар» кийгизип коюшат: аттын буттары бул учурда саздарга коп батпай калат. Саздак жерлерде жашоочу кишилер да бул амалдан пайдаланышат.

Алтынчы окуучу: Жука муздуу жерден өтүүдө кишилер өзүнүн денесинин салмагын көбүрөөк аянтка бөлүштүрүү үчүн сойлоп өтүшөт. Акырында, чоң салмактарына карабастан танктардын жана гусеницалуу тракторлордун борпоң кыртыштарда тыгылып калбоо өзгөчөлүгү дагы эле алардын салмагынын чоң таяныч аянтына бөлүштүрүлүшү менен түшүндүрүлөт. Салмагы 8 тк же андан ашык болгон гусеницалуу машиналар кыртыштын 1 кв. см аянтына 600 гк тон ашык эмес басым жасашат. Бул жагынан алып караганда саздуу жерлерде жүк ташуучу гусеницалуу вездеход бир кыйла кызык. Үстүндө 2 тк жүгү менен мындай машина болгону кыртыштын 1 кв.см аянтына 160 гк гана басым жасайт; мына ушу себептен ал торфтуу саздарда, баткактуу жана кумдуу жерлерде жакшы жүрө алат. Бул учурда чоң таяныч аянты техникалык жактан алганда, ийненин учунун кичине аянты сыяктуу эле пайдалуу.

Мугалимдин сөзү: Жогоруда айтылгандардан учтуу нерселердин тешип өтүү жөндөмдүүлүгү күчтүн алардын кичине аянтына туура келиши менен байланыштуу. Мокок бычакка караганда курч бычактын жакшы кесиши да ушундай эле себеп менен түшүндүрүлөт: мында да күч кичине аянтка бөлүштүрүлөт. Ошентип, учталган же курч миздүү буюмдардын учтарына же миздерине чоң басым туура келгендиктен алар нерселерди жакшы тешет же кесет.

«Талаш-тартышта сот болуңуз» аттуу программасында: физикалык тажрыйбаларды талкулоодо, аткарууда, окуучулар техникалык-коопсуздук эрежелерин сактоону үйрөнүшөт. Жыйынтыктап айтсак, күмүш кашыктардын колду күйгүзөрлүк ысытышы анын жылуулук өткөргүчтүүлүгү жезге караганда чоң экендигинен эмес (айырмасы 10 % аз), күмүштүн жылуулук сыйымдуулугу жезге салыштырганда эки эсеге жакын аз экендигине байланыштуу. Ошонтуктан жылуулуктун бир эле агымында жезге караганда күмүш жогорку температурага чейин ысыйт. Азыр да болсо колдонулуучу айрым эски жез кашыктары, сыртынан калайдын жука катмары менен капталып койгондуктан көрүнүшү боюнча күмүш кашыктарга окшоп кетерин белгилеп кетели.

«Талаш-тартышта сот болуңуз» программалык - тапшырмасы окуучуларга кайсыл учурда пайдалуу болот? Тандалып алынган жооп так, туура жыйынтыктуу ойлонуп аткарылуусунда. Ар бир программалык контролдоодо же кандайдыр бир көнүгүүнү аткарууда окуучулар формалдык жыйынтыктарды алып калышы мүмкүн. Ошондуктан, тапшырмалар аткарылып бүткөндөн кийин, оозеки түрдө да, жалпылоого, талкулоого тийишпиз. Жооптордун анализдери (туура жоопторду жалпылоодо жана каталарды текшерүүдө) мугалим же окуучу балдардын арасында жүргүзүлөт. Кесиптик-техникалык

лицейлерде физика предметин окутууда, маалыматтык технологияларды колдонууда убакыттан эң чоң утуш алабыз, себеби ар бир окуучуну оозеки суроодо көптөгөн убакыттар талап кылынат. Мугалим программалык жооптордун негизинде, группадагы окуучулардан эң чоң агымдагы жоопторду алат жана жаңы тапшырманы берүү менен туура эмес жооп берген балдардын каталары текшерилет, жыйынтыкталат. Программалык тапшырмалар, группадан тышкары иштерде да уюштурулат (мисалга 50%). Мугалим өтүлө турган тема боюнча кошумча суроолорду даярдайт, себеби сабактын аягында окуучу берилген суроолорго жооп даярдашы зарыл.

Адабияттар

1. Методические рекомендации по преподаванию физики в средних профтехучилищах при подготовке рабочих-металлистов: Метод. пособие /Пинский А.А., Мельников И.А., Козырь В.И. – М.: Высш.школа, 1980. – 184 с.
2. Корж Э.Д., Пеннер Д.И. Задания для программированного контроля по физике в средних профтехучилищах: Учеб.пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.школа, 1980. – 160 с.
3. История и философия науки (Философия науки): Учебное пособие/ Под ред.проф. Ю.В.Крянева, проф. Л.Е.Моториной. – 2-е изд., перераб. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 416 с.
4. Перельман Я.И. Кызыктуу физика. Эки китептен турат /Көтөр. Т.Карашев. –Ф.: Мектеп, 1986. I китеп. – 1986. – 232 б.

УДК 33.2:681.3

Г.А.Токтогулова, Г.А.Эсеналиева

ЦИКЛ PDCA В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

Подход, который основан на использовании систем управления качеством в образовательных учреждениях, обязывает вузы анализировать требования заказчиков, определять процессы, которые способствуют созданию и предоставлению образовательных услуг, востребованных заказниками, и управлять этими процессами. Внедрение процессного подхода в управление вуза является одним из основных требований системы управления качеством для высших учебных заведений, которые приняли решение о внедрении системы управления качеством. Считается, что желаемого результата достигают более эффективно, если деятельностью и связанными с ней ресурсами управляют как процессом.

Принципиальное отличие процессного подхода от функционального заключается в том, что основное внимание руководства вуза концентрируется не на отдельных функциях, выполняемых различными подразделениями и

должностными лицами, а на межфункциональных процессах, объединяющих отдельные функции в общие потоки и нацеленных на конечные результаты деятельности организации. При этом главное внимание обращается не на вертикальные связи в организационной структуре, которые традиционно хорошо отлажены, а на горизонтальные, являющиеся наиболее слабыми и потому представляющими реальную опасность для эффективного менеджмента. Достоинство процессного подхода заключается, прежде всего, в повышении управляемости на стыках деятельности подразделений и должностных лиц. Постепенный переход от функциональной структуры организации к процессному управлению заключается в четком распределении ответственности, взаимодействия, ресурсов, информации для принятия управленческих решений и отчетности. После того как эти связи в процессе и между процессами созданы и нормально функционируют, можно говорить о готовности вуза к переходу от традиционных структур управления к матричным и проектным структурам /3/.

Для реализации процессного подхода необходимо представить всю деятельность как совокупность процессов, на входе которых присутствуют требования и ожидания потребителей, как внешних, так и внутренних, а выходы процессов оцениваются по степени удовлетворения этих требований и ожиданий. Для эффективного функционирования вузам необходимо определить многочисленные взаимосвязанные процессы.

Стандарты ISO серии 9000 четко определяют четыре основные группы макропроцессов, входом для которых выступают требования заказчиков, а выходом – продукция (услуга). При этом обязательным условием есть обратная связь с заказчиком через макропроцесс «Измерение, анализ и улучшение». Учитывая специфику учебного заведения, при проектировании системы управления качеством вуза целесообразно определить следующие процессы, входящие в группы основных макропроцессов.

1. Макропроцесс «Ответственность руководства»: «Управление документацией»; «Управление записями»; «Стратегическое планирование и управление университетом»; «Анализ системы управления качеством со стороны руководства»; «Информирование общественности».

2. Макропроцесс «Процессы основной деятельности»: «Образовательная деятельность»; «Научная деятельность»; «Воспитательная деятельность»; «Международная деятельность».

3. Макропроцесс «Управление ресурсами»: «Управление персоналом»; «Управление информационными ресурсами научной библиотеки»; «Управление материально-техническим обеспечением деятельности вуза»; «Обслуживание и развитие инфраструктуры университета»; «Управление системой охраны труда»; «Обеспечение безопасности».

4. Макропроцесс «Измерение, анализ и улучшение»: «Внутренний аудит», «Мониторинг, измерение и анализ процессов»; «Управление несоответствиями»; «Корректирующие и предупреждающие действия»; «Улучшение деятельности университета».

В основе управления процессами лежит цикл PDCA.

Для обеспечения управления качеством в вузе целесообразно внедрять методологию «*Plan-Do-Check-Act*» (PDCA) для каждого из процессов.

Основным инструментом процесса постоянного улучшения является цикл PDCA, который известен также под названием цикл Деминга (рис. 1). Цикл PDCA – это непрерывный процесс совершенствования деятельности, представленный в виде циклической последовательности четырех этапов: Plan (планирование), Do (выполнение), Check (проверка), Act (исправления, действия) /4/.

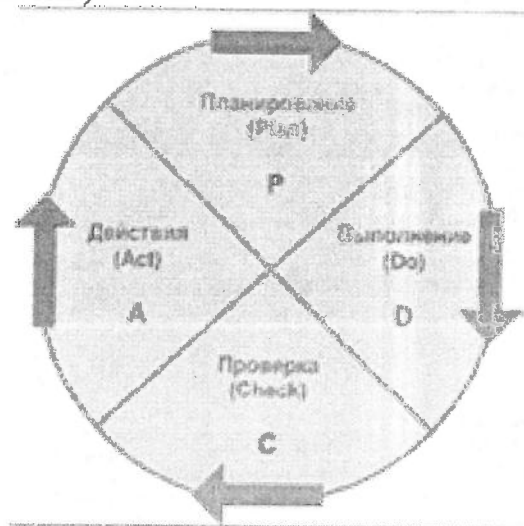


Рис.1. Цикл Деминга

Цикл PDCA кратко можно описать так:

1. Планирование (Plan) – планируются мероприятия, направленные на достижение определенной цели.
2. Выполнение (Do) – осуществляются мероприятия, намеченные на предыдущем этапе.
3. Проверка (Check) – на данном этапе анализируются результаты проделанной работы.
4. Действия (Act) – в план вносятся необходимые коррективы (либо ставится новая цель).

Цикл PDCA символизирует принцип повторения в решении проблемы – достижение улучшения шаг за шагом и повторение цикла усовершенствования много раз.

Указанный цикл для процессов деятельности обращается в этапы: Plan – планирование необходимой последовательности действий процесса, Do – выполнение процесса по намеченному плану, Check – контроль достижения целей и результатов деятельности, Act – улучшение деятельности.

Первоначально планируются показатели качества, то есть параметры, которым должна удовлетворять продукция, услуга, процесс, и разрабатывается план действий для получения требуемых параметров. Затем идет создание продукта с запланированными свойствами и производится контроль изготовленной продукции либо процесса.

При контроле проверяется соответствие показателей качества запланированным значениям и выявляются все имеющиеся отклонения.

Далее выявляются причины появления таких отклонений, и проводится корректировка процесса таким образом, чтобы устранить выявленные причины. Иногда приходится проводить также корректировку всего намеченного ранее плана действий. После реализации корректирующих мероприятий снова

проверяется соответствие получающихся показателей качества их запланированным значениям. Цикл повторяется до тех пор, пока результат не совпадет с планом. Так как в соответствии с требованиями потребителей планируемые показатели качества периодически изменяются, цикл PDCA служит непрерывному улучшению качества и является эффективным инструментом для достижения наилучших результатов.

Применение цикла PDCA в различных областях деятельности позволяет эффективно управлять этой деятельностью. Рассмотрим, как теоретически цикл PDCA должен реализовываться в вузе /3/.

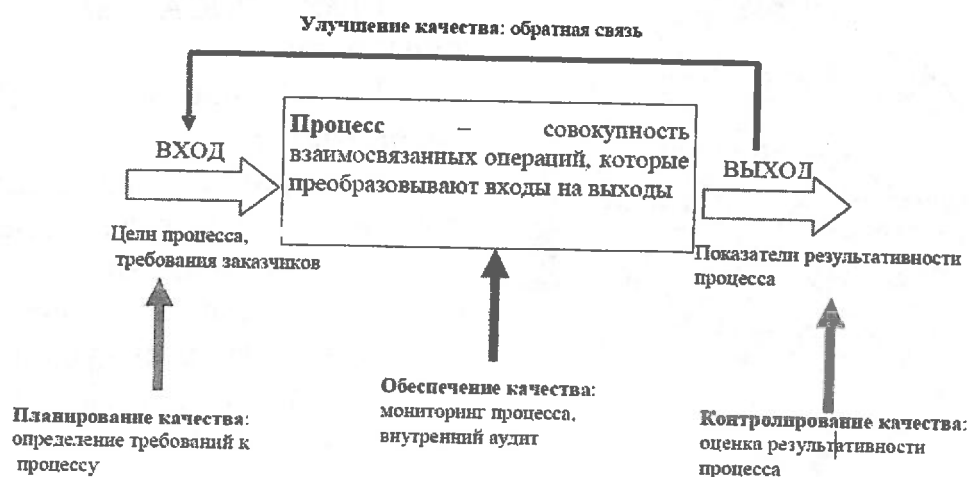


Рис.2. Модель управления процессом, основанная на методологии PDCA

Составляющие PDCA:

- Планирование качества – определение измеримых целей для каждого процесса, в т.ч. целей, которые вытекают из предназначения процесса и требований заказчиков к данному процессу;
- Обеспечение качества – управление процессом, создание системы мониторинга для процесса как контрольной функции ответственного за процесс; проведение внутренних аудитов (независимой оценки степени соответствия процесса установленным к нему требованиям);
- Контролирование качества – оценка результативности (эффективности) процесса (степень достижения целей, поставленных перед процессом);
- Улучшение качества – использование обратной связи для увеличения способности исполнить требования к качеству.

Внедрение процессного подхода в управление высшим учебным заведением создает возможности рационального использования ресурсов для обеспечения жизнедеятельности вуза, гарантирует прозрачность при принятии решений, а также определяет четкие зоны полномочий и ответственности для должностных лиц. Цикл PDCA обеспечивает управление качеством через ее составляющие в каждом процессе /3/.

Повышение качества эффективного управления высшим учебным заведением в целом создают конкурентные преимущества для университетов на

международном уровне. А сама система управления качеством используется как технология управления и постоянного развития высшего учебного заведения.

Список литературы

1. Барвинок В.А., Т.С. Яницкая, Т.Н. Родина, Ключков Ю.С. Методика формализованного описания процессов разработки системы качества // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2005. – № 3. – С. 29-33.
2. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес процессов. – М.: РИА “Стандарты и качество”, 2004. – 408 с.
3. Материалы сборника статей VI Международной научно-практической конференции «Образование в XXI веке: проблемы и перспективы». НУБиП Украины, УОНИ качества биоресурсов и безопасности жизни, 2010.
4. <http://subscribe.ru/archive/economics.tools/201101/03032348.html/>
5. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 12. – № 3(2). – 2010.

УДК 37.378

Е.Е.Син, Т.А.Орунбаев, М.М.Тайиров

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ

Проблемы качества вузовского образования изучаются сегодня в разных направлениях, среди них важнейшее направление представлено исследованиями в области информатизации высшего образования.

Важной целью информатизации высшего образования является обеспечение качественно новой моделью подготовки специалистов, способных самостоятельно добывать знания, гибко изменять свои функции на производстве в зависимости от состояния научно-технического процесса и запросов общества, потребителей. Владение информационными навыками позволяет свободно ориентироваться в мире знаний, информации и стать обладателем планетарного мышления и сознания.

Каждый человек живет в бесконечном информационном мире? и его интересуют также вопросы об устройстве окружающего его мира.

Современное человечество широко использует в своей жизни и деятельности различного рода информацию. Рассматривая философские основы информационной роли в обществе, исследователи отмечают, что по степени практической значимости информация поднялась на уровень вещества и энергии. Большой интерес для нас представляет идея, что в информационном

обществе основное внимание должно быть уделено улучшению образования, повышению уровня квалификации обучаемых в плане грамотности пользования информационными средствами.

Информационное общество требует повышенного внимания к образованию и образованности, особенно в плане культуры, производства, общения.

Главными признаками сегодняшних информационных обществ являются:

- свободный доступ человека к информации;
- революционные изменения в научной, промышленной и социальной сфере информационной деятельности;
- автоматизация и кибернизация отраслей производства и управления;
- наличие информационных технологий, обеспечивающих включение потребностей личности, общества и государства и др.

Движению к информационному обществу способствует повсеместное появление современных компьютерных и информационных средств и технологий, которые серьезно влияют на развитие научных исследований, стабильности производства и социальное поведение людей. Все эти показатели и признаки информационного общества позволяют выполнить принципиально новые задачи.

Конечно, информацию можно рассматривать с разных позиций в зависимости от того, что мы возьмем за основание. Кроме того, существует множество производных от термина информации. Мы остановимся более подробно на одном из наиболее часто встречающихся в качестве характеристики современного образовательного процесса, как компьютеризация обучения, или информатизация.

Весьма широко распространено понимание информатизации как системы взаимосвязанных нижеперечисленных процессов:

- информационного – обособленного и обработанного под специальный формат, доступный для пользования, хранения, обработки и передачи электронными и другими средствами социально значимых сведений;
- познавательного – создание, формирование и поддержка целостной информационной модели мира, обеспечивающей человечеству динамичное и непрерывное развитие на всех этапах познавательной деятельности от индивидуальной до общезнаниепедической, от первоначальных знаний до научных открытий;
- материально-технического – создание крупномасштабной и глобальной инфраструктуры, компьютерных и электронных средств хранения, автоматизированной обработки и беспрепятственной передачи информации.

Учитывая многопрофильность информационных назначений, можно саму информатику сузить и считать как науку о деятельности самого человека и для человека, связанную с определенными функциональными потребностями, такими как организация сбора, переработки, хранения и использования сведений и информационное обучение. Последнее можно представить в виде системы знаний, включающей два основных аспекта:

а) «компьютерный», связанный с технологией и способами накопления, хранения, обработки и выдачи необходимой учебной, познавательной, научно-производственной и другой информации;

б) личностный, когда информация присваивается и адаптируется под личность, а процесс преобразования происходит под личностные представления, убеждения и интересы.

Принципиальная особенность компьютерного информационного обучения в том, что через систему мер процесса передачи информации происходит перевод на исследование формального компонента изучаемого явления и объекта. Такая формализация имеет место в системе образования, способствуя упорядочению и реализации образовательной задачи.

Однако, наряду с этим, мы считаем, что личностный аспект информационного обеспечения является одним из приоритетных, так как конечная цель информатизации образования – это не построение формализованных информационных систем, а достижение субъектом образования, самопознания, самоизменения и саморазвития. К тому же данный аспект информатизации исследован менее основательно и полно, чем технологический аспект.

Одной из важных задач высшего образования является создание для людей новых и прогрессивных видов профессиональной деятельности, новых отношений, расширение интеллектуальных возможностей личности, предоставление широкого доступа к мировым культурным ценностям в процессе освоения и образовательной, и познавательной информации.

Информационные процессы позволяют говорить о перспективах повышения качества образования, необходимости разработки новых подходов и создания современных образовательных моделей, учитывающих всю полноту и многозначность современной информационной и коммуникационной системы.

Информационные технологии, проникая в сферу образования, позволяют использовать уникальные средства и методы для улучшения процесса обучения, организации новых форм передачи информации – знания.

В настоящее время идет становление новой системы высшего образования, ориентированной на мировое образовательно-информационное пространство. В связи с этим информационную компетенцию можно рассматривать как новый вид грамотности.

Использование информационных и коммуникационных технологий позволяет создать определенные условия для формирования и развития информационных и тесно связанных с ним коммуникационных компетенций, позволяющих максимально учитывать личностные особенности. К профессиональным качествам можно отнести:

- умение представлять информацию в виде адекватно поставленной цели и задачи профессиональной и производственной деятельности;
- собирать, хранить и обрабатывать информацию с использованием базы данных и передавать информации с помощью электронных средств связи;

• уметь применять информацию для решения практических задач и т.д.

Начальные информационные компетентностные знания формируются уже на первых курсах вузовского образования в рамках курса информатики. Практика показывает, что этот курс, в основном, посвящен изучению различных программных средств, тестирования и др., что не совсем соответствует содержанию информационных и коммуникационных компетенций. В связи с этим доля информационной и коммуникационной деятельности в вузах сравнительно невелика. В информационно-методических целях целесообразно расширить ее, используя для этого «местные» локальные связи и возможности глобальной сети Интернет.

Информатизация и ее обеспечение в учебном процессе не может произойти в один момент. Это достаточно долгий, поэтапный процесс, который занимает достаточно длительное время. Остановимся на его отдельных этапах:

Первый этап. Очень важно выявить педагогов и сотрудников вуза, желающих освоить профессиональную деятельность на информационной основе. Наряду с этим необходимо определить организационно-технические возможности информационной, компьютерной и другой техники и средств, определить уровень информационной культуры и степень готовности педагогов и студентов к освоению и использованию информационной технологии.

Второй этап. На этом этапе необходимо отобрать (по выбору) конкретные учебные предметы (отдельные темы) и виды деятельности для разработки электронных ресурсов, анализа их содержания, структуры и особенностей внедрения информационной технологии. Вначале следует остановиться на тех дисциплинах (разделах, темах), при изучении которых использование информационных и электронных ресурсов наиболее целесообразно и методически оправдано.

При принятии педагогом решения о применении информационных технологий необходимо начать с определения их дидактической цели, содержания, структуры, назначения и определить виды занятий, на которых будут задействованы эти ресурсы.

Третий этап. Определившись с предметами и видами информационной деятельности, и перед тем, как создавать собственную информационную стратегию работы, необходимо изучить и проанализировать уже созданные и используемые модели, выявить их достоинства и недостатки. При разработке сценария и технологии использования информационных технологий и электронных ресурсов подбираются средства, методика и учебные приемы. Компонировка учебного материала, его изложение во время занятий должны вестись с учетом организационных, познавательных, технических и нормативных требований к информационным и коммуникационным средствам. На каждом этапе проведения занятий необходимо определить функции обучаемого, задачи преподавателя и цели каждого этапа занятий.

Четвертый этап. На этом этапе идет активный внедренческий процесс. В ходе использования информационных технологий параллельно осуществляется анализ целесообразности и эффективности используемых преподавателем форм, методов и средств. На основании этого вносятся коррективы в информационный процесс: определяются «плюсы» и «минусы» информационной деятельности, разрабатываются методические и другие аспекты.

Пятый этап. Направление на прогнозирование изменений в обучении, определение эффективности использования информационных технологий в данных параметрах и создание ресурсных качеств по их улучшению. Происходит оценка влияния информационных технологий на основные факторы, такие как интенсификация учебного процесса, личностное развитие студента, и прогнозируются возможные проблемы, связанные с негативными последствиями.

К некоторым дидактическим требованиям можно отнести:

1. Способность информационных и электронных ресурсов обеспечить более высокий уровень реализации в образовании таких требований, как научность обучения, доступность информации, проблемность, наглядность, активность и сознательность студентов в процессе обучения, последовательность, прочность усвоения знаний, единство образовательных функций обучения.

2. Информационное, коммуникационное и электронное обеспечение должно отвечать требованиям гласности, открытости, индивидуальности, интерактивности и адаптивности обучения.

3. Предлагаемые образовательные услуги, предметы обучения, действия педагогов и студентов должны быть системными, непрерывными, структурно и функционально взаимосвязаны при предоставлении учебного материала в информационном и электронном ресурсе.

Серьезные и регулярные исследования в области применения информационных технологий в образовании ведутся с середины XIX века и по настоящее время. Так, сегодня в вузах успешно применяются различные программные комплексы, среди них есть относительно доступные: текстовые, графические редакторы, тесты, средства для работы с таблицами и др., а также довольно сложные и узкоспециализированные, как например, системы программирования управления базами данных, пакеты символьной математики и автоматизированной обработки статистических данных и др.

В информационном обеспечении и в процессе передачи знаний важную роль играют компьютерные коммуникации и связь, которые являются неотъемлемой составляющей всех видов информационной технологии с использованием локальных, региональных, мировых компьютерных сетей. Поскольку реализация любой компьютерной коммуникации происходит именно в рамках информационной образовательной среды, для эффективного приложения электронного образовательного ресурса педагогу необходимо свободно ориентироваться в соответствующем программном обеспечении.

Самостоятельная разработка полноценных программных продуктов учебного назначения – весьма трудоемкое по времени и дорогостоящее дело, здесь нужна совместная работа высококвалифицированных специалистов: опытных преподавателей, психологов, программистов, компьютерных дизайнеров и т.д.

Программное обеспечение, используемое сегодня в информационной технологии, можно разбить на следующие основные категории:

- обучающие, контролирующие и тренировочные системы;
- системы и каталоги баз для сертификации и поиска необходимой потребителю информации;
- моделирующие и алгоритмические программы;
- специальные программы и системы загрузки микромира;
- различного рода и уровня инструментальные средства и материалы познавательного и образовательного характера;
- особая группа инструментальных средств, пригодных и разношерстных и в нестандартных системах, которые можно назвать средствами универсального назначения;
- и наиболее востребованная, активно работающая – инструментальные средства для обеспечения связи и коммуникации и др.

Возросшая производительность персональных компьютеров, появление очень перспективных новинок, таких, как, например, работа с оптическими дисками, сделали возможным широкое применение различных текстов, графики, видео и мультипликации в режиме индивидуального и группового диалога, и тем самым значительно расширена область применения информационных средств в учебно-познавательном процессе.

Ограниченные рамки статьи не позволяют остановиться о возможностях Интернета, где в основе уже совсем иного уровня информационная система – гипертекстовая технология, способная вложить всю наземную информацию в рамки единого стандарта.

А пока мы должны разрабатывать и внедрять программное обеспечение для поддержания собственной информационной среды с учетом своих возможностей и специфики деятельности. При этом надо заметить, что использование традиционных учебно-методических материалов в информационном русле имеет ряд проблем педагогического характера (приведение их в соответствие с возможностями форм организации учебного процесса, создание информационной программы очередности подачи материала, разработка тестовых и оценочных методик, формирование базы данных по персонализации обучающихся и т.д.), в то время как технические вопросы информации вполне разрешимы.

К сожалению, несмотря на значительные усилия, до сих пор в вузах нет единого стандарта по программному обеспечению информационных технологий. Имея серьезную теоретическую и методологическую основу, информационные структуры и технологии нуждаются в дальнейшей

дидактической и методической подпитке. Программное и учебное обеспечение в вузах по-прежнему отстает от научного и потребительского спроса.

Решение перечисленных вопросов, на наш взгляд, заложит основу для реализации информационных задач образования, позволит выявить пути разрешения противоречий между потребностью общества в информационной среде и возможностями выпускников вуза.

В системе высшего образования появилось много новых проектов, основанных на широком использовании возможностей информационных технологий, которые, несомненно, позитивно отразятся на качестве учебного процесса.

Список литературы

1. Андреев А.А. Средства новых информационных технологий в образовании: систематизация и тенденции развития // Основы информатизации информационных технологий в учебном процессе вузов. – М.: ВУ, 1995. – С.48-49.

2. Захаренко Н.Д., Князев М.Д., Круглов А.Н. Использование информационных технологий в учебном процессе // Специалист. – 1999. – № 6. – С.15-17.

3. Жакыпбекова А.С. Новые информационные технологии в системе образования как способ повышения качества образования // Вестник КНУ им. Баласагына. Серия 5. Вып.1. – 2008. – С.18-20.

4. Син Е.Е., Бабаев Д.Б. Компьютерная грамотность и формирование профессиональной культуры педагогов // Материалы научно-практической конференции «Образование через культуру». – Бишкек: КИО, 1996. – С. 88-91.

УДК 371.67-028.27:378.147

Г.Б.Асаналиева, А.К.Исаева

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК КАК СРЕДСТВО ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Практическая реализация компьютерных технологий и переход на последующие этапы информатизации связаны с отбором содержания отдельных предметов с целью создания компьютерных программ. Программное обеспечение должно отражать действующий учебный план. Компьютерные учебные программы заявили о себе как о средстве обучения в начале 70-х годов в период появления персональных компьютеров, но до сих пор не имеют общепризнанного и «узаконенного» названия. Наиболее широким из них является понятие «программное средство учебного назначения». Рассмотрим

более подробно программные средства учебного назначения, которые наиболее широко используются в системе образования.

Электронные учебники

Электронный учебник – это автоматизированная обучающая система, включающая в себя дидактические, методические и информационно-справочные материалы по учебной дисциплине, а также программное обеспечение, которое позволяет комплексно использовать их для самостоятельного получения и контроля знаний.

Для того чтобы электронный учебник стал популярным, он должен быть универсальным, то есть одинаково пригодным как для самообразования, так и для стационарного обучения, полным по содержанию, высокоинформативным, талантливо написанным и хорошо оформленным.

Рассмотрим преимущества электронного учебника по сравнению с простым – типографским.

Возможность быстрого поиска по тексту.

Организация учебной информации в виде гипертекста. Гипертекст – возможность создания «живого», интерактивного учебного материала, снабженного взаимными ссылками на различные части материала. *Гипертекст* – это текст, представленный в электронной форме и снабженный разветвленной системой связей, позволяющей мгновенно переходить от одного его фрагмента к другому в соответствии с некоторой иерархией фрагментов.

Термин «гипертекст» ввел в 1963 г. Т. Nelson для обозначения понятия комбинации текста на естественном языке со способностью компьютера осуществлять интерактивный выбор следующей порции информации или динамичного воспроизведения нелинейного текста, который не может быть напечатан обычным способом на листе бумаги. Гипертекст дает возможность разделить материал на большое число фрагментов, соединив их гиперссылками в логические цепочки, а затем на основе одного оформленного соответствующим образом материала произвести моделирование «собственных» учебников для каждого учащегося, в зависимости от его уровня подготовки, быстроты усвоения и интересов.

Наличие мультимедиа (*multi* – много, *media* – среда) – богатейшего арсенала способов иллюстрации изучаемого явления. Продукты мультимедиа применяют многообразные разновидности информации: компьютерные данные, теле- и видеоинформацию, речь и музыку. Такое объединение ведет к использованию разнообразных технических устройств регистрации и воспроизведения информации, допускающих управление от компьютера телевизором, видеомagneитофоном, HiFi-аудиосистемой, проигрывателем компакт-дисков (CD), магнитофоном и электронными музыкальными инструментами. Мультимедиа-средства по своей природе интерактивны, то есть зритель и слушатель мультимедиа-продуктов не остается пассивным. Мультимедиа повышает качество обучения и позволяет удерживать внимание

обучаемого. Если раньше изношенный черно-белый фильм «Действия населения в условиях химической тревоги», показываемый на занятиях по гражданской обороне, был пределом мечтаний, то современные технические средства позволяют создать куда более зрелищные учебные пособия в виде компьютерной анимации или даже игры.

Моделирование изучаемых процессов и явлений, возможность проводить «компьютерные эксперименты» в тех областях человеческого знания, где реальные эксперименты очень трудоемки или попросту невозможны. Например, возможность поработать с графическим представлением атома водорода, взятым из обучающей программы «Микрофизика на компьютере».

Еще одним преимуществом являются наличие системы самопроверки знаний, системы рубежного контроля, совместимость с электронной экзаменационной системой, возможность оценки приобретенных знаний.

При создании электронных учебников нецелесообразно просто переносить типографский вариант учебного пособия в электронный вид и затем конвертировать в гипертекст. Конечно, в результате появятся некоторые преимущества в плане поиска и гиперссылок, но такой учебник будет неудобен для обучающегося, так как читать с монитора не так удобно, как книгу. Поэтому при создании электронных учебников целесообразны:

- иная организация материала учебника: главы целесообразно сделать более короткими, чтобы их было проще читать на экране;

- разделение материала на несколько контекстов (например, обязательный для прочтения, дополнительный, вспомогательный, определения и т.п.) и визуальное их выделение;

- содержание учебного материала, в соответствии с требованиями психологов, рекомендуется разбивать на модули. Освоение учебного материала, соответствующее конкретному модулю, должно быть ориентировано не более чем на два часа контактного времени;

- после изучения очередного модуля приобретенные учащимися или студентами знания следует контролировать с помощью соответствующей программы, включенной в состав электронного учебника;

- выделение особого внимания интерфейсу пользователя;

- сжатость и краткость изложения материала при максимальной информативности текста. Сокращения, встречающиеся в тексте, должны быть общеупотребительными, и их количество должно быть сведено к минимуму. Отсутствие нагромождений, тщательное структурирование информации. Наличие кратких и «емких» заголовков, маркированных и нумерованных списков для того, чтобы весь текст легко просматривался. Каждому положению должен быть отведен отдельный абзац текста, при этом основная идея абзаца должна находиться в самом его начале. Целесообразно использование табличного формата представления материала, который позволяет представить материал в компактной форме и наглядно показать связи между различными понятиями;

архитектура учебника должна включать графическое обеспечение, которое позволяет передать необходимый объем информации при краткости его изложения. Графическую информацию можно использовать в учебном процессе не только как фрагмент гипертекста. Известна, например, американская методика преподавания на основе конкретных ситуаций (case-method) принципам ведения бизнеса, основанная на серии рисунков или рисованных фильмов. Однако требуется соблюдение меры в графическом оформлении, так как это может привести к отходу от целей обучения /1, 2, 3, 4, 5/.

Следуя всем вышеперечисленным рекомендациям, предложенным ведущими учеными в этой области (И.В.Роберт, Б.С.Гершунский, А.И.Кибзун, Н.Н.Соболева), мы, преподаватели кафедры «Высшая математика» АУПКР предлагаем свой вариант электронного учебника, подготовленного для студентов дистанционного обучения по дисциплине «Математика».

Особым вопросом в настоящее время стоит подготовка специалистов на заочных и дистанционных формах обучения. Без непосредственного объяснения преподавателя очень сложно усвоить математический материал. Мы предложили свой способ решения этой проблемы.

Интерфейс заглавной страницы содержит основное дерево с гиперссылками по каждому разделу. Каждый раздел Курса лекций гиперактивен и имеет возможность перехода от одной темы к другой. Лекции для студентов Института дистантного обучения представлены в виде видеороликов с объяснением материала. Студент, находясь вдалеке от преподавателя, по данным разработкам может свободно изучить учебный материал.

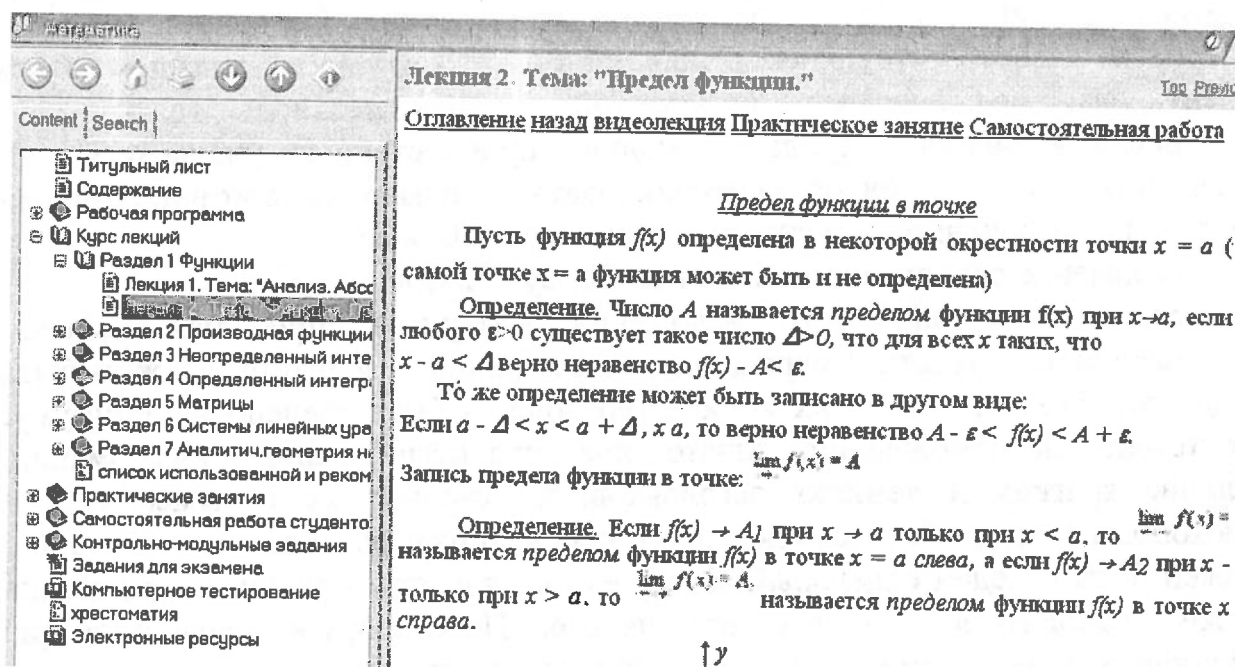


Рис. 1

Каждая тема в данном электронном учебнике является гипертекстом, снабженным разветвленной системой связей между лекционным материалом, презентациями лекций, видеолекцией, видеопрактикой, практическими занятиями и самостоятельной работой, позволяющей мгновенно переходить от одного его фрагмента к другому в соответствии с некоторой иерархией фрагментов.

Важным фактором усвоения математики и овладение ее методами является самостоятельная работа студентов. Видеоролики, в которых отражено подробное решение примеров, способствует самостоятельному решению студентами своих модульных заданий.

Для решения математических примеров вложены гиперссылками видеоролики с подробными объяснениями. Таких видеозаписей в указании 10. Они охватывают практически весь курс математики.

В УМК включены варианты контрольно-модульных заданий № 1 и № 2 по двум семестрам. В каждом контрольно-модульном задании 10 различных вариантов, которые содержат примеры по всем ключевым темам высшей математики.

Электронный учебник снабжен компьютерными тестами для зачета и экзамена.

Целью данного электронного учебника является развитие у студентов навыков и умений решать задачи математического анализа, линейной алгебры и аналитической геометрии.

The screenshot shows a web-based interface for an electronic textbook. On the left is a 'Content' sidebar with a search bar and a list of navigation links: 'Титульный лист', 'Содержание', 'Рабочая программа', 'Курс лекций', 'Практические занятия', and 'Самостоятельная работа студента'. Under 'Самостоятельная работа студента', there are multiple links for 'Задания для самостоятельных работ' (Independent Work Tasks) for various topics. The main area on the right is titled 'Задания для самостоятельных работ №9' (Independent Work Tasks No. 9) with the theme 'Матрицы и действия над ними' (Matrices and operations on them). It contains three numbered tasks (1, 2, 3) asking to find expressions involving matrices A and B. Task 1 involves $(-2A \cdot B^{-1} + \frac{1}{2}A^2 \cdot B)^T$. Task 2 involves $-\frac{3}{5}A \cdot B^T + \frac{1}{5}(A^{-1})^2$. Task 3 involves $(A \cdot B^{-1})^2 - 3B \cdot A^T$. Each task is followed by specific matrix values for A and B.

Задания для самостоятельных работ №9
Тема: Матрицы и действия над ними

Содержание Назад Лекция

1. Найти $\left(-2A \cdot B^{-1} + \frac{1}{2}A^2 \cdot B\right)^T$, если $A = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 1 & 4 & 2 \\ 1 & -4 & 0 \end{pmatrix}$

2. Найти $-\frac{3}{5}A \cdot B^T + \frac{1}{5}(A^{-1})^2$, если $A = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 1 \\ 5 & 3 & 4 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 1/2 & 1/3 & - \\ 2/5 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

3. Найти $(A \cdot B^{-1})^2 - 3B \cdot A^T$, если $A = \begin{pmatrix} -1 & 3 & 2 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 3 & -1 & 0 \\ -2 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & 4 \end{pmatrix}$

Рис. 2

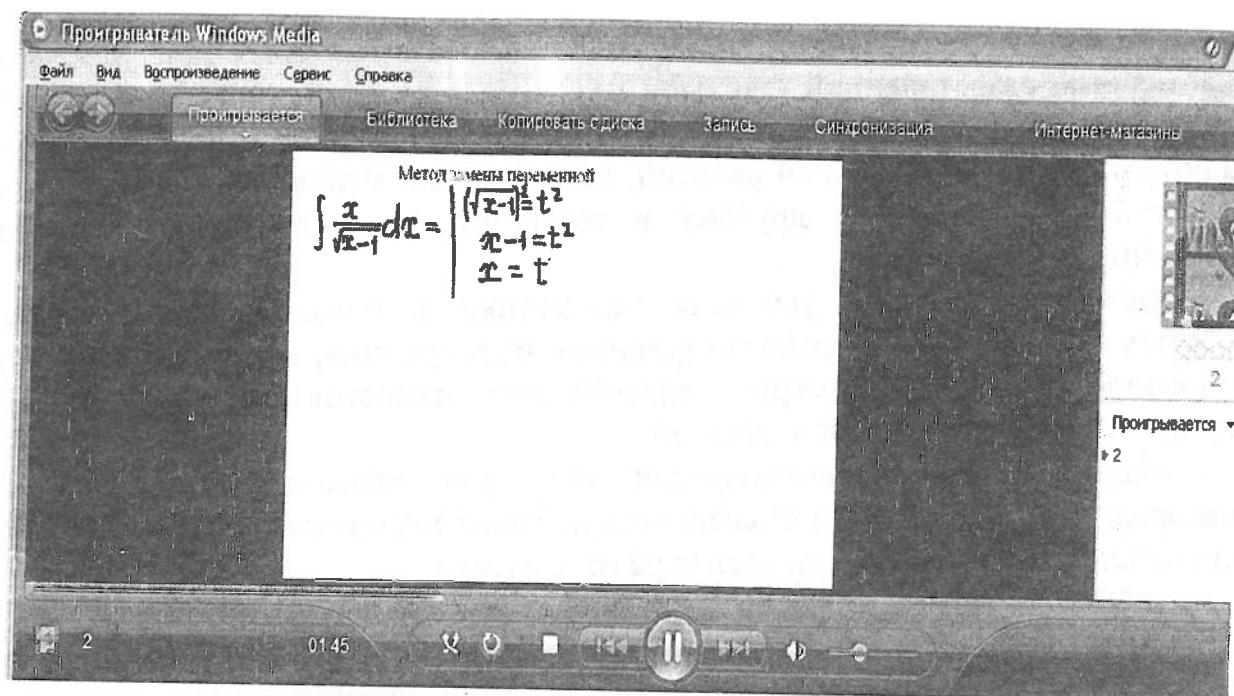


Рис. 3

В пособии также содержатся теоретические вопросы для самоконтроля по разделу «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Аналитическая геометрия», указана литература.

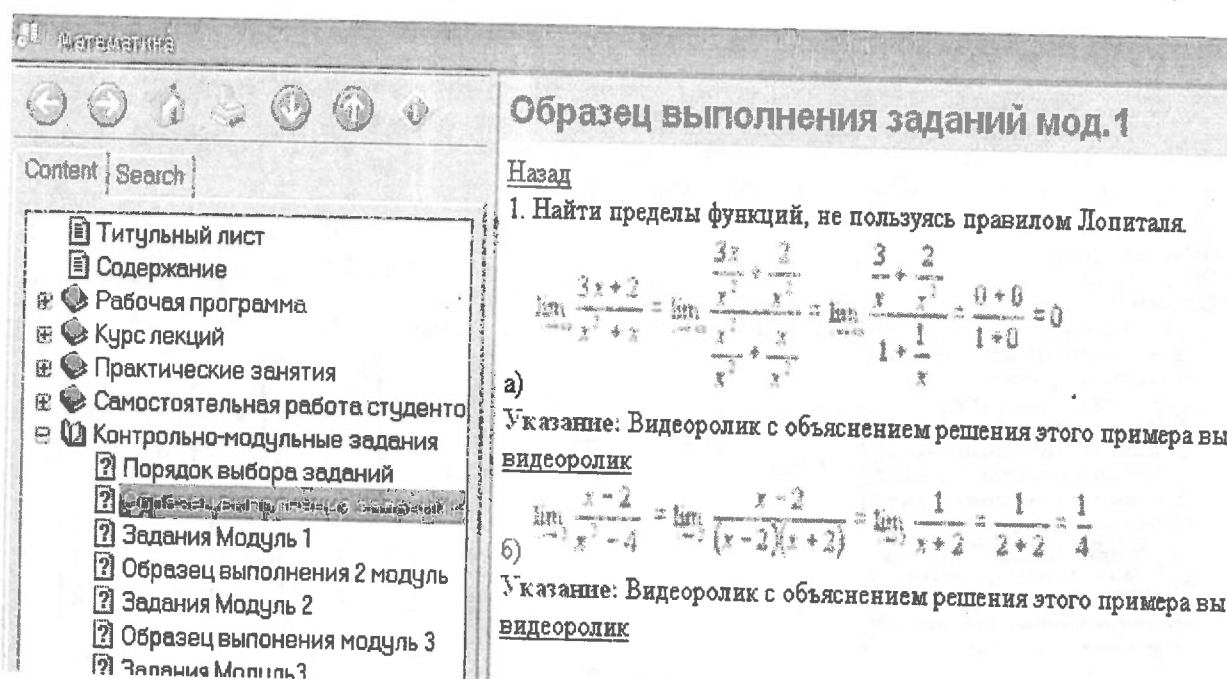


Рис. 4

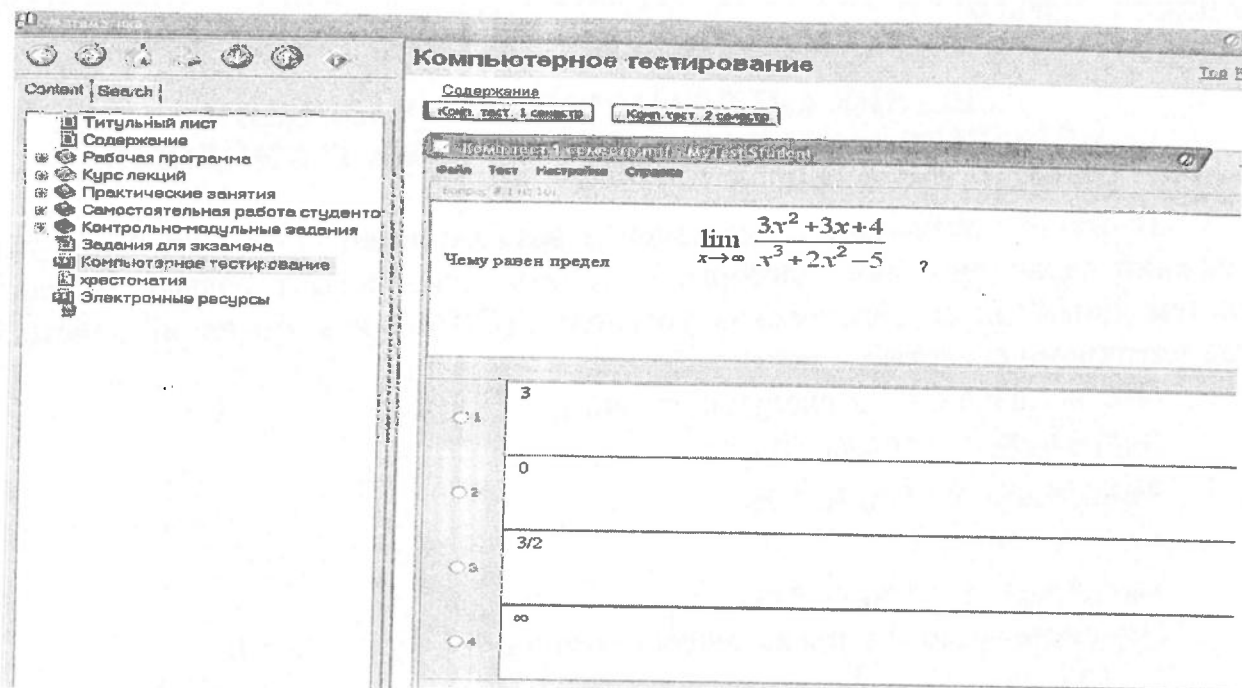


Рис. 5

Список литературы

1. Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании. – М.: Школа-Пресс, 1994.
2. Гершунский Б.С. Компьютеризация в сфере обучения: проблемы и перспективы. – М.: Педагогика, 1987.
3. Кибзун А.И., Наумов А.В., Горяинова Е.Р. Теория вероятностей и математическая статистика: Базовый курс с примерами и задачами / Под ред. А.И.Кибзуна. – 3-е изд. – М.: Физматлит, 2007. – 234 с.
4. Кибзун А.И., Каролинская С.Н. Графоориентированный подход к построению компьютерного учебника по математическим дисциплинам для втуза // Тезисы 9-й международной конференции «Системный анализ и управление». – М.: МАИ, 2004.
5. Соболева Н.Н., Гомулина Н.Н., Брагин В.Е., Мамонов Д.И., Касьянов О.А. Электронный учебник нового поколения для современной российской школы // Информатика и образование. – М. – 2002. – № 6. – С. 67-76.

РЕШЕНИЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье показывается применение возможностей пакета Ms Excel при решении задач линейной алгебры. Студенты приобретают навыки решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) и выполнений действий над матрицами средствами пакета.

Пусть задана СЛАУ следующего вида:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1,$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2,$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_n.$$

Эту систему можно представить в матричном виде: $AX = b$,

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix} \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix}$$

где A – матрица коэффициентов, X – вектор неизвестных, b – вектор правых частей системы уравнений.

При выполнении лабораторной работы систему линейных алгебраических уравнений необходимо будет решать методом обратной матрицы.

Система линейных алгебраических уравнений в матричном виде имеет следующую форму: $AX = b$. Таким образом, вектор неизвестных вычисляется по формуле $X = A^{-1}b$. Обратите внимание на особенность работы с матричными формулами: необходимо предварительно выделять область, в которой будет храниться результат, а после получения результата преобразовывать его к матричному виду, нажав клавиши **F2** и **Ctrl+Shift+Enter**.

Теперь рассмотрим решение системы линейных уравнений методом обратной матрицы на следующем примере.

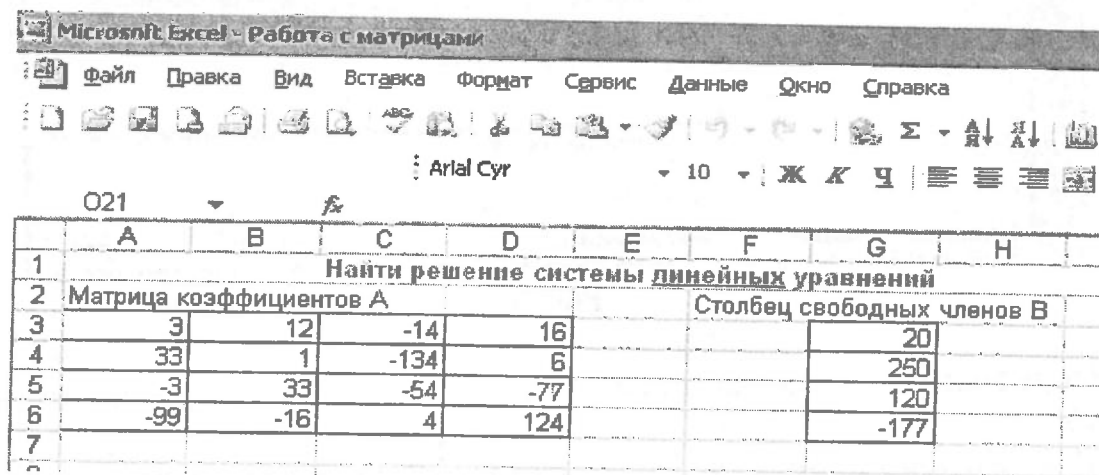
ПРИМЕР. Решить систему методом обратной матрицы:

$$\begin{cases} 3x_1 + 12x_2 - 14x_3 + 16x_4 = 20 \\ 33x_1 + x_2 - 134x_3 + 6x_4 = 250 \\ -3x_1 + 33x_2 - 54x_3 - 77x_4 = 120 \\ -99x_1 - 16x_2 + 4x_3 - 124x_4 = -177. \end{cases}$$

В этом случае матрица коэффициентов A и вектор свободных коэффициентов b имеют вид:

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 12 & -14 & 16 \\ 33 & 1 & -134 & 6 \\ -3 & 33 & -54 & -77 \\ -99 & -16 & 4 & -124 \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} 20 \\ 250 \\ 120 \\ -177 \end{pmatrix}.$$

Введем матрицу **A** и вектор **b** в рабочий лист MS Excel (рис. 1). В нашем случае матрица **A** находится в ячейках **A3:D6**, а вектор **b** – в диапазоне **G3:G6**.



Microsoft Excel - Работа с матрицами

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

Arial Cyr 10 Ж К Ч

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Найти решение системы линейных уравнений							
2	Матрица коэффициентов A				Столбец свободных членов B			
3	3	12	-14	16			20	
4	33	1	-134	6			250	
5	-3	33	-54	-77			120	
6	-99	-16	4	124			-177	
7								

Рис. 1

Система линейных алгебраических уравнений имеет решение в том и только в том случае, если определитель коэффициентов матрицы **A** не равен нулю. Вычислим определитель с помощью встроенной функции **МОПРЕД** (рис. 2).

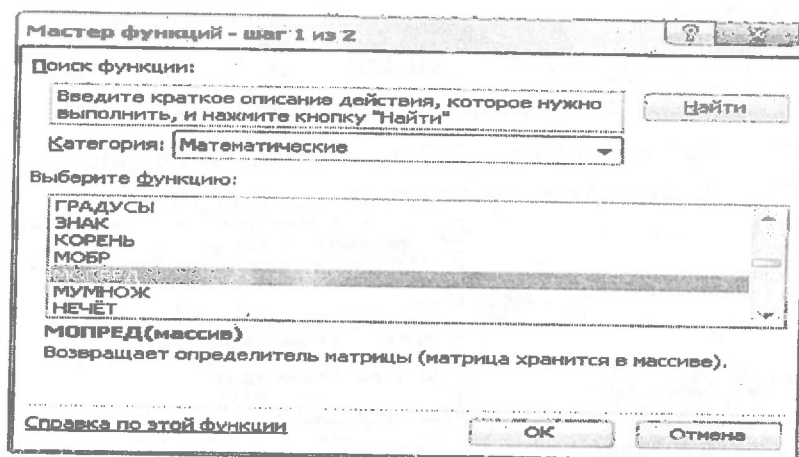


Рис. 2

В открывшемся окне укажем диапазон матрицы коэффициентов **A** **A3:D6** и нажмем кнопку **OK**.

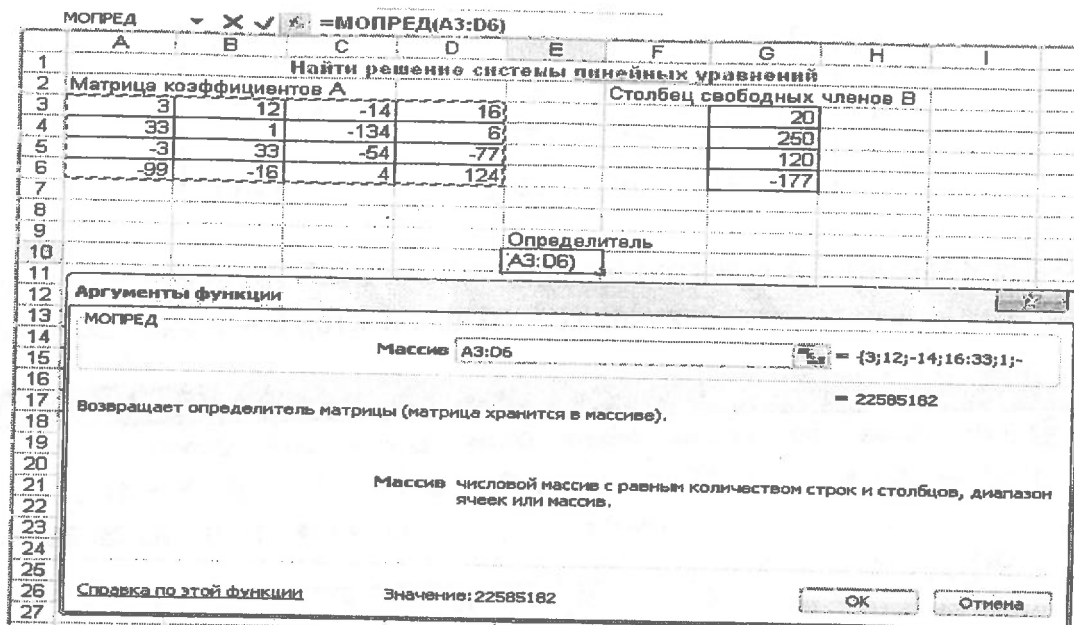


Рис. 3

Определитель матрицы A равен 22585182, т.е. система уравнений имеет решение.

Для решения системы методом обратной матрицы необходимо вычислить матрицу, обратную к A. Для этого выделим ячейки для хранения обратной матрицы (это нужно сделать обязательно!!!); пусть в нашем случае это будут ячейки A14:D17.

Теперь обратимся к мастеру функций, и в категории Математические выберем функцию МОБР, предназначенную для вычисления обратной матрицы, щелкнув по кнопке ОК, перейдем ко второму шагу мастера функций (рис. 4.). В диалоговом окне, появляющемся на втором шаге мастера функций, необходимо заполнить поле ввода Массив. Это поле должно содержать диапазон ячеек, в котором хранится исходная матрица – в нашем случае A3:D6. Данные в поле ввода Массив можно ввести, используя клавиатуру или выделив их на рабочем листе, удерживая левую кнопку мыши (рис. 5).

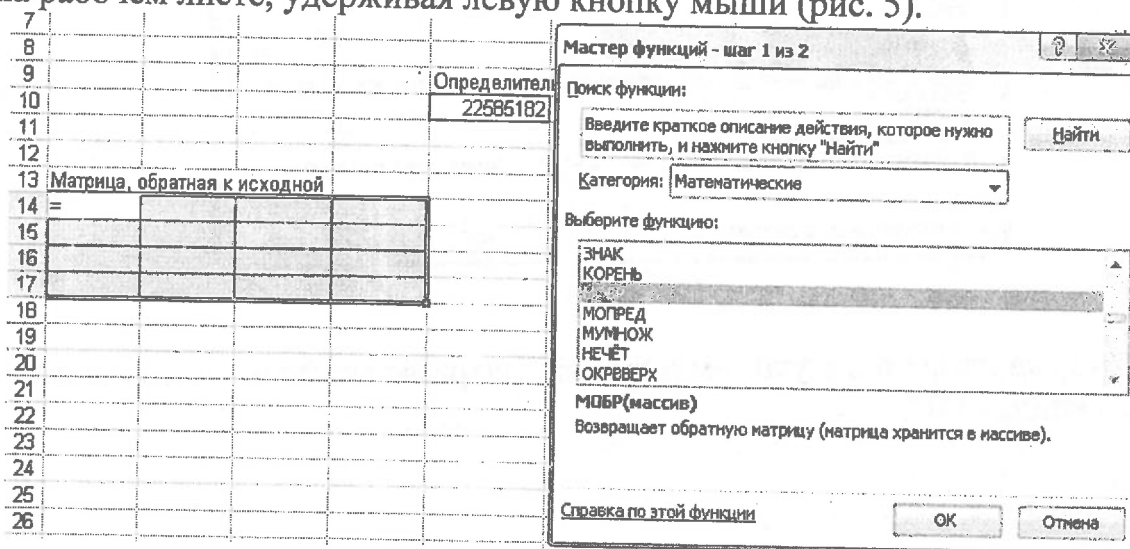


Рис. 4

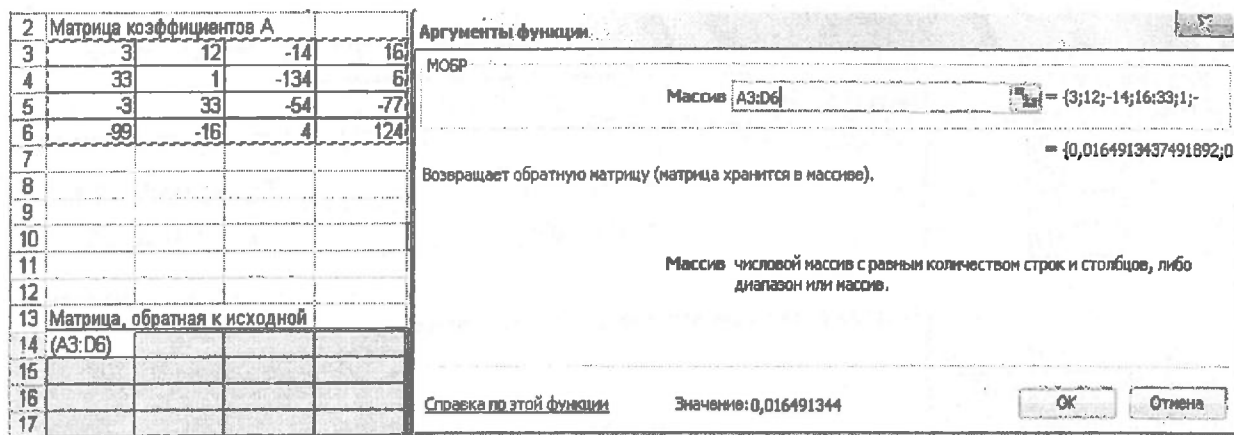


Рис. 5

Если поле Массив заполнено, можно нажать кнопку **ОК**. В первой ячейке выделенного под обратную матрицу диапазона появится некоторое число. Для того чтобы получить всю обратную матрицу, необходимо нажать клавишу **F2** для перехода в режим редактирования, а затем одновременно клавиши **Ctrl+Shift+Enter**. В нашем случае рабочая книга MS Excel примет вид изображенный на рис. 6.

	B15		{=МОБР(A3:D6)}	
	A	B	C	D
13	Матрица, обратная к исходной			
14	0,016491	0,00214	-0,01022	-0,00858
15	0,058192	-0,0096	0,00861	-0,0017
16	0,005414	-0,00698	-0,00276	-0,00208
17	0,020501	0,000695	-0,00696	0,001064

Рис. 6

Теперь необходимо умножить полученную обратную матрицу на вектор **b**, выделим ячейки для хранения результирующего вектора, например **G14:G17**. Обратимся к мастеру функций, и в категории **Математические** выберем функцию **МУМНОЖ**, которая предназначена для умножения матриц. Напомним, что умножение матриц происходит по правилу строка на столбец и матрицу **A** можно умножить на матрицу **B** только в том случае, если количество столбцов матрицы **A** равно количеству строк матрицы **B**. Кроме того, при умножении матриц важен порядок сомножителей, т.е. **AB ≠ BA**. Перейдем ко второму шагу мастера функций. Появившееся диалоговое окно содержит два поля ввода **Массив1** и **Массив2**. В поле **Массив1** необходимо ввести диапазон ячеек, в котором содержится первая из перемножаемых матриц, в нашем случае **A14:D17** (обратная матрица), а в поле **Массив2** ячейки, содержащие вторую матрицу, в нашем случае **G3:G6** (вектор **b**). (рис. 7).

ММУНОЖ $\times \sqrt{\frac{1}{2}}$ =МУМНОЖ(A14:D17;G3:G6)

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Иных уравнений											
2	Столбец свободных членов В											
3		20										
4		250										
5		120										
6		-177										
7												
8												
9												
10												
11	Вектор X - произведение обратной матрицы на на столбец свободных членов											
12												
13												
14	x1	G3:G6										
15	x2											
16	x3											
17	x4											
18												

Аргументы функции

МУМНОЖ

Массив1 A14:D17 = {0,01649134374918

Массив2 G3:G6 = {20;250;120;-177}

= {1,15663154717992;0,0

Возвращает произведение матриц (матрицы хранятся в массивах).

Массив2 первый из перемножаемых массивов, который должен иметь то же число столбцов, что и второй.

Справка по этой функции Значение: 1,156631547

Рис. 7

Для того чтобы получить весь вектор, необходимо нажать одновременно клавиши **Ctrl+Shift+Enter**. В нашем случае результаты вычислений (вектор X) находятся в ячейках **G14:G17**.

Для того чтобы проверить, правильно ли решена система уравнений, необходимо умножить матрицу A на вектор X и получить в результате вектор **В**. Умножение матрицы A на вектор X осуществляется при помощи функции **МУМНОЖ(A3:D6;G14:G17)** так, как было описано выше.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Найти решение системы линейных уравнений								
2	Матрица коэффициентов A				Столбец свободных членов В			Проверка	
3	3	12	-14	16		20		20	
4	33	1	-134	6		250		250	
5	-3	33	-54	-77		120		120	
6	-99	-16	4	124		-177		-177	
7									
8									
9									
10					Определитель				
11					22585182				
12									
13	Матрица, обратная к исходной								
14	0,016491	0,00214	-0,01022	-0,00858		x1	1,156632		
15	0,058192	-0,0096	0,00861	-0,0017		x2	0,097476		
16	0,005414	-0,00698	-0,00276	-0,00208		x3	-1,59979		
17	0,020501	0,000695	-0,00696	0,001064		x4	-0,4398		

Рис. 8

В результате проведенных вычислений рабочий лист примет вид, изображенный на рис. 8.

Для лабораторной работы предлагается несколько вариантов примеров.

Вариант 1

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + 2x_3 + 3x_4 = 1 \\ 3x_1 - x_2 - x_3 - 2x_4 = -4 \\ 2x_1 + 3x_2 - x_3 - x_4 = -6 \\ x_1 + 2x_2 + 3x_3 - x_4 = -4 \end{cases}$$

Вариант 3

$$\begin{cases} 5x + 8y - z = -7 \\ x + 2y + 3z = 1 \\ 2x - 3y + 2z = 9 \end{cases}$$

Вариант 2

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 - 2x_4 = 6 \\ x_1 - x_2 - 2x_3 - 3x_4 = 8 \\ 3x_1 + 2x_2 - x_3 + 2x_4 = 4 \\ 2x_1 - 3x_2 + 2x_3 + x_4 = -8 \end{cases}$$

Вариант 4

$$\begin{cases} x + 2y + z = 4 \\ 3x - 5y + 3z = 1 \\ 2x + 7y - z = 8 \end{cases}$$

Применение компьютерных технологий приводит к интенсификации всех уровней учебно-воспитательного процесса, к повышению эффективности и качества процесса обучения, к активизации познавательной деятельности студентов.

Список литературы

1. Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании. – М.: Школа-Пресс, 1994.
2. Гершунский Б.С. Компьютеризация в сфере обучения: проблемы и перспективы. – М.: Педагогика, 1987.
3. Кибзун А.И., Наумов А.В., Горяинова Е.Р. Теория вероятностей и математическая статистика: Базовый курс с примерами и задачами / Под ред. А.И.Кибзуна. – 3-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 234 с.
4. Высоцкий И.Р. Компьютеризация в образовании// Информатика и образование. – 2000, № 1.

УДК 37.378

А.Ж.Кошуев, М.М.Тайиров

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ

Современное время характеризуется возрастающими темпами научно-технического прогресса, непрерывным увеличением объема информации и изменением содержания знаний, умений и навыков, которые требуют от

учителя физики обширного овладения современным представлением о законах природы. Для этой цели возникает необходимость усовершенствования современной методики преподавания физики в общеобразовательной школе.

На основе глубокого анализа происходящих в обществе процессов надо определить основные направления дальнейшего совершенствования обучения и воспитания учащихся: главное сегодня в том, чтобы повысить качество учебно-воспитательного процесса, укрепить связь обучения с жизнью /1/.

В этих целях хотим обратить ваше внимание на методы преподавания физики в современных условиях. Сегодняшний ученик живет и обучается под действием потока разных знаний и информации, их получают из разных источников и разными путями. Например, в школе от учителей, вне школы – от телерадиовещаний и из Интернета. Но, к сожалению, есть учащиеся, которые по семейным обстоятельствам и по другим разным причинам не ходят в школу. Большинство из них работают, зарабатывают деньги на жизнь на территории нашей республики или даже в государствах ближнего зарубежья. Некоторые учащиеся бросили учебу из-за неуспеваемости по предметам, особенно по точным предметам. Поэтому на сегодняшний день нужно еще раз обратить внимание на процесс обучения учащихся в образовательных школах. Надо укрепить связь между обществом, вузами, общеобразовательными школами и семьями.

Пути повышения качества обучения и воспитания школьников основаны на использовании теории и опыте выдающихся методистов, поиске новых форм и методов повышения эффективности учебного процесса.

Качество урока зависит от очень многих компонентов: глубокого знания предмета, эрудиции учителя и его творческого поиска, правильного планирования структурных частей занятия, оптимального использования различных методов и форм работы /2/.

Процесс обучения физике представляет совокупность последовательных и взаимосвязанных действий учителя и учащихся, направленных на сознательное и прочное усвоение учениками основ физики, приобретение ими практических навыков, умение применять знания в жизни, на развитие самостоятельного творческого мышления и наблюдательности, формирование основ мировоззрения, на идейно-нравственное и трудовое воспитание учеников /1/.

Повышение качества урока и основной формы учебно-воспитательной работы в общеобразовательном учреждении на сегодняшний день требует организации эффективной работы методистов на учебно-методических объединениях.

Современным уроком может считаться такой, который обеспечивает высокую учебно-воспитательную эффективность в условиях обязательного всеобщего обучения, т.е. когда каждый ученик получает на уроке глубокие и прочные знания, эффективное воспитательное воздействие.

Известные ученые педагоги-методисты /3/ выделяют ряд факторов, определяющих эффективность урока физики:

- высокий уровень мотивации учебной деятельности и интереса к изучаемому материалу, который достигается идейностью преподавания, связью содержания обучения с развитием государства;

- ясное понимание учителем и школьниками основных задач урока и требований к результатам обучения;

- закрепление изученного материала путем упражнений и самостоятельной работы учащихся, в том числе умение работать с электронным учебником;

- вооружение учеников методами науки, общим подходом к изучаемому материалу на основе реализации принципа цикличности: от исходных фактов к ядру физической теории, от него к выводу теоретических следствий и далее – экспериментальная проверка выводов и их практическое применение;

- проверка и оценка знаний и качества учебной работы школьников за текущий урок.

Одним из основных критериев, влияющих на повышение качества урока, является взаимопонимание между учителем, учеником и классом.

На начальном этапе изучения учащимся предмета физики в школе нужно объяснить так грамотно, чтобы ученик почувствовал или представил себе суть применения физики в технике и в быту. Надо привести такие примеры, чтобы учащиеся полностью поняли, что физика – это нужный предмет. Научно-технический прогресс, в том числе техника, улучшает жизнь человека. Нужно объяснить физический смысл величины, единицы измерения. Для объяснения и закрепления материала по предмету физики необходимо использование различных интерактивных методов обучения. Включить элементы объяснения физических понятий с помощью информационной технологии на уроках физики.

Повышение качества урока физики в большой мере связано с совершенствованием учебного физического эксперимента, являющегося органической частью обучения. Во время же демонстрационных опытов школьники должны видеть и усвоить действия с приборами, необходимыми для наблюдения и исследования явлений, для прямых и косвенных измерений физических величин. Но, к сожалению, многие наши, особенно региональные школы, не в достаточной мере или совсем не обеспечены современными физическими приборами для проведения демонстрационных опытов. Исходя из реальности, обеспечение современными физическими приборами школ связано с различными экономическими проблемами в стране. Для формирования у школьников современных представлений о законах окружающего нас мира, т.е. экспериментальных умений по проведению демонстрационных опытов и др., необходимо в государственном масштабе проводить различные информационные воздействия, нацеленные на

повышение кругозора подрастающего поколения. Поэтому, по нашему мнению, для решения вышеизложенных задач необходимо:

- создание постоянных различных познавательных программ через телевидение, радио;
- серийный выпуск дисков, где отражены различные познавательные программы, демонстрационные опыты и др.;
- подсоединение беспроводной Интернет-связи с помощью станций сотовых компаний «Beeline» или «MegaCom», которые имеются в каждом регионе;
- создание бесплатных сайдов, электронных библиотек (на кыргызском языке);
- создание виртуальных лабораторий с использованием современных компьютерных технологий, хотя бы в тех школах, которые обеспечены компьютерами, хотя почти во всех школах уже имеются компьютеры.

Решение этих задач даст возможность проведения если не прямых, то хотя бы косвенных измерений физических величин, при этом необходимо ознакомление учащихся с планом и ходом выполнения эксперимента, методами обрабатывания полученных данных, получение выводов и составление отчета о проделанной работе.

Решающее же значение для формирования экспериментальных умений, конечно, имеет, безусловно, самостоятельная деятельность школьников: осуществление кратковременных фронтальных опытов, решение экспериментальных задач, выполнение фронтальных работ и практикума сначала с просмотром демонстрационных опытов с помощью компьютерной технологии, а затем прямых проведений экспериментальных измерений на различных опытах.

Имея в виду, что конечным результатом развития экспериментальных умений школьников должно быть правильное выполнение ими лабораторных работ, когда поставлены только их цели, следует постепенно повышать степень самостоятельности учеников, соответственно уменьшая количество указаний, изменяя характер инструктажа.

Проверка знаний и умений учащихся составляет очень важную часть процесса обучения физике, выполняя различные функции – контроль над результатами усвоения знаний отдельными учениками и классом в целом, углубление, развитие и закрепление знаний (ответы на контрольные вопросы). Его основные формы: устная, письменная и практическая.

Известно, что неуспеваемость школьников и как следствие – потеря интереса к занятием часто проистекают из-за их «педагогической запущенности», т.е. из-за того, что вовремя не было замечено их отставание в изучении учебного материала. Вот почему так важно выявить проблемы в знаниях каждого ученика по крупным темам программы и дать ему указания о способах их устранения. Делать это надо, применяя все формы проверки их и тщательно к ним готовясь. Так, большое внимание необходимо уделять

подбору и формулировке вопросов для устной проверки знаний, методов привлечения всего класса к активному в ней участию, систематическому проведению письменных контрольных работ по темам и разделам программы. Нельзя забывать также о практической проверке по результатам решение экспериментальных задач, выполнении фронтальных опытов, лабораторных работ и практикума.

При устном контроле следует ориентироваться на сформулированные в усовершенствованной программе требования к знаниям различных структурных элементов учебного материала по физике: опытов и явлений, понятий, законов, теорий и их практических применений.

Как бы ни были совершенны уроки физики и высока активность учащихся на них, домашние задания необходимы все равно. Они обеспечивают решение достаточного количества упражнений, а главное – требуют от учащихся высокой сознательности, самостоятельности, а это необходимо для формирования прочных, глубоких и действенных знаний. При этом убедительная мотивация домашней учебной деятельности, развитие интереса к изучаемому материалу достигается разъяснением школьникам задачи домашней работы и требований к ее результатам, связью учебного материала с жизнью, повседневным контролем выполнения домашних заданий, с разнообразием их содержания.

В современных условиях научно-технической революции уже невозможно делать главную ставку на усвоение учащимся определенной суммы фактов. Важно прививать умение самостоятельно учиться, пополнять свои знания, ориентироваться в широком и стремительном потоке информации и развитии науки и техники. Для решения этих очень важных педагогических проблем необходимо, в частности, прививать подросткам первостепенной значимости умения самостоятельно работать с книгой, Интернетом, развивать желание расширять свой кругозор.

В процессе обучения физике систематически надо развивать у учеников следующие умения работать с учебником: выделять главное в прочитанном тексте, самостоятельно разбираться в математических выводах, анализировать содержание рисунков, графиков, схем, таблиц, находить ответы на поставленные вопросы; составлять план прочитанного; сравнивать изучаемые материалы; сделать обобщающие выводы по одному или нескольким параграфам учебника; пользоваться оглавлением, предметно-именным указателем.

Для того чтобы учить школьников внимательно и вдумчиво читать текст учебника физики, надо систематически предлагать задание, подобное следующему: «Найдите в параграфе... описание опыта, показанного на уроке». Для убеждения учеников на начальном этапе изучения предмета физики в том, что выделенные в учебнике жирным шрифтом определения нужно заучивать дословно, следует попутно разъяснять, почему в учебнике применены разные шрифты, в частности, для записи определений.

При обучении школьников работе с учебником при решении задач можно дать задания следующего типа:

– найдите и прочитайте в учебнике параграф, где описано физическое явление, о котором идет речь, или закон, необходимые для их решения;

– найдите из текста параграф... учебника, формулы которого нам понадобятся в процессе работы над задачей;

– найдите в учебнике нужную вам справочную таблицу и определите по ней недостающее в условии задачи числовое значение физической величины, необходимой для решения задачи. Для выработки умений пользоваться таблицами физических величин нужно предлагать школьникам на начальном этапе изучения предмета физики такие задания: объясните физический смысл приведенных в таблице значений величин; найдите в таблице на наибольшее и наименьшее значения физических величин. Ученикам полезно дать и общие советы по работе с учебником дома при изучении нового материала:

1. Прочитайте заданный параграф.
2. Выделите определение и материал, который не был рассказан учителем на уроке.
3. Проследите за логикой вывода формулы.
4. Рассмотрите рисунки.
5. Составьте план параграфа.
6. Дополните своими примерами, приведенными в параграфе.
7. Перескажите содержание изученного материала /4/.

Таким образом, чтобы учитель мог управлять познавательным процессом школьника с учетом формируемых знаний, умений и методов физической науки, он должен осознавать направленность каждого своего действия /5, 6, 7/.

В старших классах у учеников нужно формировать более сложные умения работать с учебником: составлять, использовать обобщенные планы, анализировать и синтезировать тексты из нескольких источников. Например, из учебника, научно-популярной статьи и Интернета. Работа с книгой – один из древних и наиболее часто применяемых методов обучения, в том числе и физики.

Практика показывает, что учащиеся не умеют пользоваться учебником при выполнении домашней работы. Некоторые ученики не понимают тексты, которые заданы в учебнике, при получении двойки за невыполнение домашнего задания теряется интерес к изучению физики. Информационно-познавательное воздействие через телевидение, радио, Интернет, а также различные вспомогательные дидактические материалы помогут решить вышеуказанные проблемы. На русском языке есть много дидактических материалов, в том числе на различных дисках, но на государственном языке они отсутствуют или имеются в недостаточных количествах. Мы считаем, что учебно-методические пособия повышают эффективность урока. На сегодняшний день для изучения предметов точных наук вместе с учебником

нужно проведение постоянных различных информационно-познавательных программ на национальных каналах телевидения, радио, в Интернете и вспомогательные дидактические материалы на дисках, особенно на кыргызском языке, для организации полноценного учебного процесса в общеобразовательных школах. Это даст возможность учащимся дома постоянно пополнять свой информационный дефицит в познании.

Таким образом, эффективность уроков физики определяется, прежде всего, результатами познавательного процесса учителя и учащихся, важнейшими показателями при этом выступают сформулированность предметных знаний и умений, их практическое использование.

Учебно-методические пособия, познавательные программы по телерадиовещанию и др. способствуют у учащихся формированию основных идей и понятий, которые изучаются в общеобразовательной школе. Это есть один из путей повышения эффективности уроков физики.

Список литературы

1. Бугаев А.И. Методика преподавания физики в средней школе. – М.: Просвещение, 1976.
2. Пути повышения качества обучения физике (к августовским совещаниям учителей). //Физика в школе. – 1983. – № 4.
3. Усова А.В. Формирование у учащихся учебных умений и навыков //Физика в школе. –1984. – № 1
4. Минкова Р.Д. Из опыта работы с учебниками на уроках физики // Физика в школе. – 1986. – №1г.
5. Ерунова П.И. Урок физики и его структура при комплексном решении задач обучения. –М.: Просвещение, 1988.
6. Чечель И.Д. Педагогическая проектирование: от методологии к реалиям // Методология учебного проекта. – М.: МИПКРО, 2001.
7. Воронов В.В. Электронная версия учебного пособия // Педагогика школы в двух словах. – М.: Просвещение, 2002.

УДК 413:681.142.1

А.С.Нортожиев

СИНГАРМОНИЗМ ЖАНА СИНОНИМАЙЗЕР ПРОГРАММАСЫНДАГЫ СӨЗДӨРДҮН ЖӨНДӨЛҮШҮ

Бир сөздүн чегиндеги үндүү тыбыштардын бири-бирине үндөшүп айтылышы сингармонизм деп аталат. Сингармонизм түрк тилдерине, монгол тилдерине, ошондой эле финно-угор, тунгус-манжур тобундагы тилдерге да мүнөздүү тыбыштык закон болуп саналат.

Түрк тилдериндеги сингармонизм туурасында эң алгачкылардан болуп ой бөлүшүп, аны илимий чөйрөгө биринчи алып чыккан түрколог катарында О. Бётлингктин ысымын атай кетүүбүз керек. Кийинчерээк бул маселе В.В.Радлов, П.М.Мелиоранский, В.А. Богородицкий ж.б. түркологдор тарабынан изилденип келди.

Үндүү тыбыштардын үндөшүү (сингармонизм) закондоруна баш ийип, бир сөз ичинде өз ара окшошуп айтылышынын төмөнкүдөй эки түрү бар: 1)үндүүлөрдүн тандай күүсүнө (жоон же ичкелигине) карата үндөшүүсү; 2)үндүүлөрдүн эрин күүсүнө (эринчил же эринсиз үндүү болуп айтылышына) карата үндөшүп өзгөрүшү.

1. Үндүүлөрдүн тандай күүсүнө карата үндөшүүсү. Бир сөз ичиндеги үндүү тыбыштардын жалаң жоон же жалаң ичке үндүүлөрдөн болуп, жоон же ичкелик сапаты жагынан жалпы окшоштукка ээ болуп үндөшүүсү кыргыз тилине гана эмес, көпчүлүк түрк тилдерине таандык фонетикалык кубулуштардан болуп саналарын жогоруда белгилеп өттүк. Үндүү тыбыштардын мындай законго багынып үндөшүүсүнөн улам пайда болгон окшоштугу тубаса (уңгу) сөздөрдүн да, мүчөлөр аркылуу морфемалык составы кеңиген туунду сөздөрдүн да бардык муундарынан кездешет. Маселен, *аалам, жалаа, алыс, калыс, уруш, оромо, алтымыш, отуз* сыяктуу тубаса сөздөрдүн составында жалаң жоон үндүүлөр колдонулса, *эртең, эркин, тешик, сүйрү, көпүрө, көңүл, көгүчкөн* деген сөздөрдө жалаң ичке үндүүлөр келип айтылат. Сөздүн уңгусунда кандай үндүү (же үндүүлөр) болсо, мүчөлөрдөгү үндүү тыбыш да жоон же ичкелиги жагынан ошого толук окшошуп жалганат.

Буга *-чы, -лар, -ыбыз, -дан* сыяктуу мүчөлөрдөгү үндүүлөрдүн төмөнкүдөй сөздөрдөгү үндүү тыбыштарга кандайча ылайыкташып жалганарын мисал катары келтирсек болот.

1. Жоон үндүүлөр менен келген сөздөргө жалганышы: *наабай + чы + лар + ыбыз + дан, касан + чы + лар + ыбыз + дан.*

2. Ичке үндүүлөр менен келген сөздөргө жалганышы: *тикме + чи + лер - ибиз + ден, мерген + чи + лер + ибиз + ден.*

Кыргыз тилинин тыбыштык системасындагы үндүү тыбыштардын тандай күүсү боюнча окшошуп үндөшүүсү (сөздүн башкы муунунда кандай үндүү турса, анын соңунан кайсы үндүүлөр келип айтылары) төмөнкү таблицада мисалдар аркылуу берилди.

	Сөздүн башкы муунунда келүүчү үндүү	Сөздүн кийинки муундарындагы үндүүлөр	Мисалдар
Жоон үндүүлөр	а	а, ы о, у	азамат, аргымак, алоо, азоо, аруу.
	ы	ы, а, о, у	Ыкчам, Ылдамдык, Ыкшоо, Ынтымактуу.
	у	у, а, ы, о	улан, бурганак, уламыш, уктоо.
	о	о, у, а, ы	отуз, топурак, жоогазын.

Ичке үндүүлөр	э	э, и, ө, ү	эне, мээрим, келишимдүү, негиздөөчү, келиш-пөөчүлүк
	и	и, э, ү, ө	ийгилик, шибер, ширелүү, тигүүчүлөр
	ү	ү, ө	үкү, күкүк, сүйүнүч, кү-зөтчүлөр, түнөк.
	ө	ө, ү	көргөзмө, өчүр, өрүм, көтөрүлүш

№1 таблица

Сөздүн бардык муундары жалаң жоон же жалаң ичке үндүүлөрдөн туруп, тандай күүсү боюнча толук үндөшүү закон ченемдүүлүгү кыргыз тилинин төл сөздөрүндө негизинен туруктуу сакталат. Ал жөнүндө жогорку таблицада берилген мисалдардан ачык байкоого болот. Тандай күүсүнө баш ийип өзгөрүү кыргыз тилине кабыл алынган кээ бир араб-иран сөздөрүнө (*аңгеме, тарбия, маданият, мамлекет, кандек; илимпоз, калемпир, акитаи*) жана орус тилинен кирген сөздөргө (*машина, техника, актив, газета, армия, искусство*) гана таралган эмес.

2. Үндүүлөрдүн, эрин күүсүнө карата үндөшүүсү. Сөздүн бардык муунунда баштан аяк эринчил үндүүлөрдүн колдонулушу үндүү тыбыштардын эрин күүсү боюнча өз ара окшошуп өзгөрүшүн көрсөткөн тыбыштык кубулушка жатат. Аны төмөнкүдөй мисалдардан көрүүгө болот: *орто, тоголок, жумуш, тумшук, күлүк, түлкү, көлөкө, көпүрө* (унгу сөздөрдөгү үндөшүү); *орто + до + гу, тоголок + то + гон, жумуш + убуз + ду, тумшук + туу + нун, күлүк + төр + үбүз + дүн, түлкү + лөр + дү, көлөкө + дө + гү + лөр, көпүрө + лөр + дүн* (жогоркудай унгу сөздөрдүн мүчөлөр аркылуу өзгөргөн туунду формаларындагы үндөшүү).

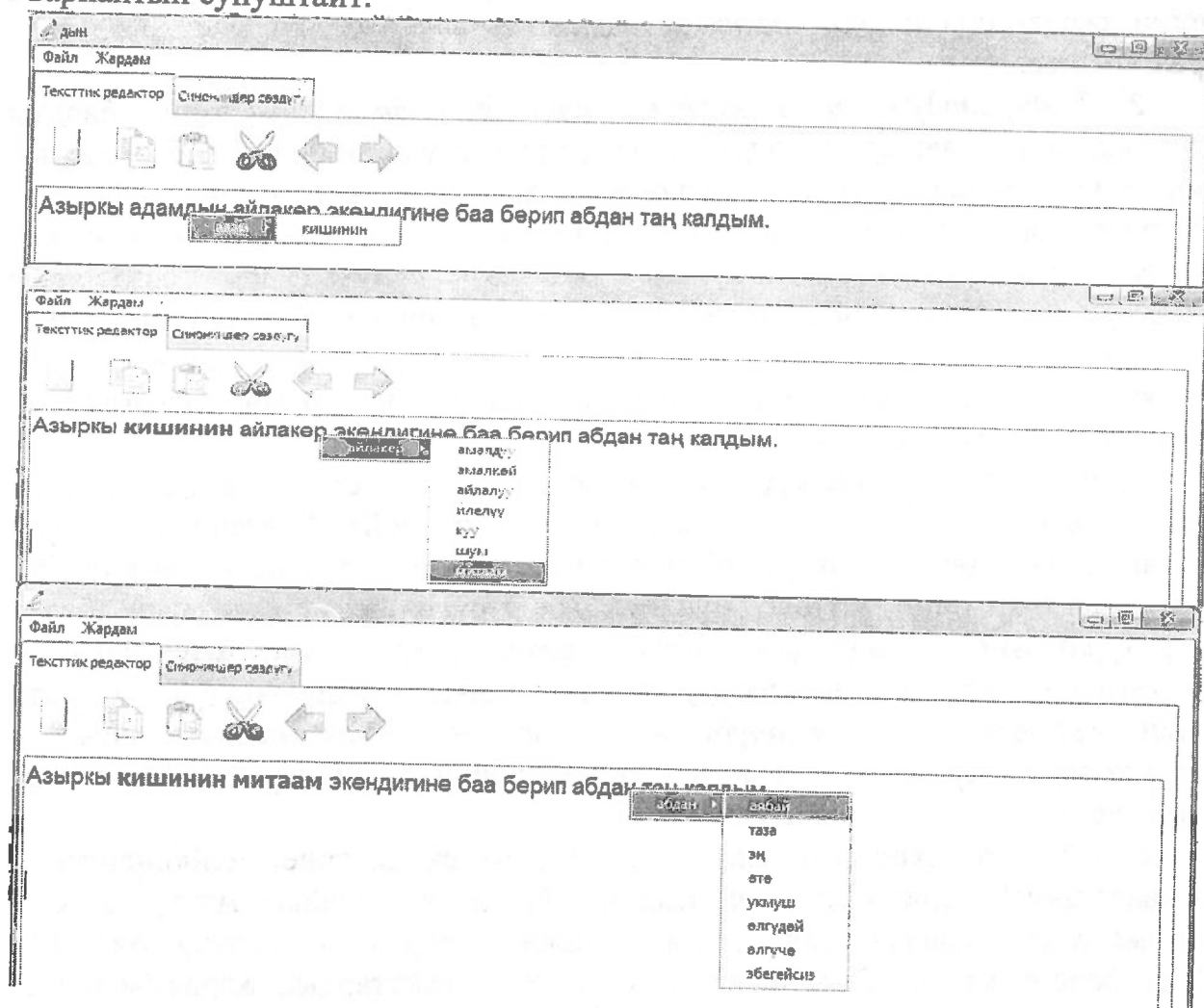
Эрин күүсүн тандай күүсүнөн тышкары турган, ага эч кандай катышы жок өзүнчө тыбыштык закон катарында кароого болбойт. Анткени эрин күүсү боюнча бири-бирине окшошуп айтылган үндүүлөрдүн тобу өз ичинен тандай күүсүнө да баш ийип, үндөшүүнүн бул эки түрү өз ара айкалышкан абалда болуп турат. Мисалы: *борбор — борборлошкон, орто - ортодогону, умтул — умутулушту, ук — уккулуктуу* (жоон эринчил үндүүлөрдүн өз ара үндөшүүсү); *көчө — көчөлөрүбүзгө, көлөкө — көлөкөлөштү, өтүк — өтүкчүлөрдүн, күч — күчөтүлгөн* (ичке эринчил үндүүлөрдүн өз ара үндөшүүсү).

Компьютер технологиясынын өнүгүшү менен интернет мейкиндигинде биз каалагандай маалыматты каалаган тилибизде таба алабыз. Ал тургай бул маалыматтарды каалаган тилге которуу, билбеген терминдерди табуу биз үчүн көйгөй болбой калды. Онлайн режимде иштеген сайттардын жардамы менен (www.translate.google.com, www.microsofttranslator.com, www.translate.ru), же оффлайн программаларды (Promt, Lingvo) колдонуп тексттерди, терминдерди көптөгөн тилдерге которо алабыз. Интернет желесинде күнүгө миндеген макалалар жазылып, чыгарылып, которулуп, өзгөртүлүп, көбөйтүлүп, жарыяланып турат. Макалаларды өзгөртүү, көбөйтүү жана аны уникалдуу текстке айлантуу иштерин рерайтинг жана рерайтинг дейбиз. www.translate.ru

тексттерди сайты жана ошондой эле Promt которуучу программасы сыяктуу эле рерайтинг жана копирайтингде да жогоруда айтылган операцияларды жасоо үчүн жардамчы программаларды колдонобуз. Бул синонимайзер программасы.

Синонимайзер- Тексттеги сөздөрдү анын базада табылган синонимдерине алмаштырып макаланын көрүнүшүн гана өзгөртүп маанисин ошол боюнча калтырып уникалдуу түргө келтирүүчү программа. Башкача айтканда синонимайзер копирайтер жана рерайтерлердин негизги куралы болуп саналат. Батышта жана Россияда Retrait-Pro, Article Copy Master, WordSyn сыяктуу программалар менен иштеп келет.

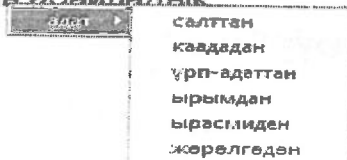
Биздин учурда кыргыз тексттери менен иштеген Synonymizer программасынын тил менен болгон маселери жөнүндө сөз болмокчу. Мисалга алсак, программанын тексттик талаачасында бир макала бар дейли. Колдонуучу макаладагы каалаган сөздү манипулятордун жардамы менен тандаганда эгерде ал сөздүн жакын маанилери маалыматтар базасында бар болсо бир канча вариантын сунуштайт.



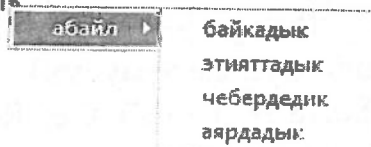
Сүрөттөрдөн көргөнүңүздөй текст трансформацияга дуушар болсо да анын контексти, жалпы мааниси өзгөргөн жок. Компьютер сөзгө кандай мүчө

улангандыгын өзү аныктап анын синонимине да ошол мүчөнү керектүү жакка, чакка, жөндөмөгө өзгөртүп сунуштайт.

Азыркы кишинин митаам экендигине баа берип аябай таң калдым.
Ал адаттан абайладык



Азыркы кишинин митаам экендигине баа берип аябай таң калдым.
Ал адаттан абайладык



Сөздөрдүн жөндөлүшүн компьютерде реализациялоодо бизге үндөштүк законунун пайдасы тийди. Сөздөрдүн жөндөлүшүн Дельфи тилинде программалап жатып кыргыз тили белгилүү бир эрежелерге баш ийгендигине көзүм жетти.

```
<word>
<main>абайл</main><initialform>абайла</initialform>
<synonym>байка</synonym><synonym>этиятта</synonym>
<synonym>чеберде</synonym><synonym>аярда</synonym>
<description>Сактык менен, сак, кылдат мамиле кылуу.</description>
<pos>этиш</pos>
</word>
```

Маалыматтар базасында абайлоо сөзү жогорудагыдай тартипте XML тегдеринин ичинде орун алган. Программа абайлоо сөзүнө кайсы мүчө улангандыгын төмөнкү алгоритмдердин жардамы менен аныктайт.

```
Mucho_Etish:array [1..11,1..20] of
string=((('дым','дим','дум','дүм','тым','тим','тум','түм','ыдым','едим','одум','өдүм','ид
им','удум','үдүм','адым',' ',' ',' '),
('дың','дин','дун','дүн','тың','тиң','туң','түн','ыдың','един','одун','өдүн','идин','удун','
үдүн','адын',' ',' ',' '),
('ды','ди','ду','дү','ты','ти','ту','тү','ыды','еди','оду','өдү','иди','уду','үдү','ады',' ',' ',' '),
('дык','дик','дук','дүк','тык','тик','тук','түк','ыдык','едик','одук','өдүк','идик','удук','ү
дүк','адык',' ',' ',' ')),
.....
Var
Unduu:array[1..12] of char=('а','э','о','ө','у','ү','ы','и','я','ю','ё','е');
Unsuz:array[1..22] of Char=
('б','в','г','д','ж','з','й','к','л','м','н','ң','п','р','с','т','ф','х','ц','ч','ш','щ');
Katkalan_Unsuz: array[1..10] of char=('к','п','с','т','ф','х','ц','ч','ш','щ');
```



```

Jumshak_Unsuz:array[1..12] of char=('б','в','г','д','ж','з','й','л','м','н','ң','р');

function Etish_Aykin_OtkonChak_BirinchiJak_Koptuk
(Soz:string;Soz_uz:integer):string;
Begin
{Эгерде этиш сөздүн акыркы тамгасы үндүү болсо}
if isUnduu(Soz[Soz_uz]) then
begin
{“каала” же “кары” болсо кааладык же карыдык}
if ((Soz[Soz_uz]='а') or (Soz[Soz_uz]='ы')) then Result:=Soz+'дык';
{“ийле” же “эрги” болсо иyledик же эргидик}
if ((Soz[Soz_uz]='е') or (Soz[Soz_uz]='и')) then Result:=Soz+'дик';
{“ойло” же “чуму” болсо ойлодук же чумудук}
if ((Soz[Soz_uz]='о') or (Soz[Soz_uz]='у')) then Result:=Soz+'дук';
{“чөмөлөлө” же “өөрчү” болсо чөмөлөлөдүк же өөрчүдүк}
if ((Soz[Soz_uz]='ө') or (Soz[Soz_uz]='ү')) then Result:=Soz+'дүк';
end;
{Эгерде этиш сөздүн акыркы тамгасы үнсүз болсо}
if isUnsuz(Soz[Soz_uz]) then
begin
{“тап”, “арбыт” болсо таптык, арбыттык}
if ((Unsuz_aldy_unduu(Soz)='а') or (Unsuz_aldy_unduu(Soz)='ы') or
(Unsuz_aldy_unduu(Soz)='я')) then
begin
{“акактап” болсо акактаптык}
if isKatkalanUnsuz(Soz[Soz_uz]) then Result:=Soz+'тык';
{“жаз” болсо жаздык}
if isJumshakUnsuz(Soz[Soz_uz]) then Result:=Soz+'дык';
end;
if ((Unsuz_aldy_unduu(Soz)='е') or (Unsuz_aldy_unduu(Soz)='и') or
(Unsuz_aldy_unduu(Soz)='э')) then
begin
{“кет”, “жибит” болсо кеттик, жибиттик}
if isKatkalanUnsuz(Soz[Soz_uz]) then Result:=Soz+'тик';
{“ил”, “сез” болсо илдик, сездик}
if isJumshakUnsuz(Soz[Soz_uz]) then Result:=Soz+'дик';
end;
if ((Unsuz_aldy_unduu(Soz)='о') or (Unsuz_aldy_unduu(Soz)='у')) then
begin
if isKatkalanUnsuz(Soz[Soz_uz]) then Result:=Soz+'дук';
if isJumshakUnsuz(Soz[Soz_uz]) then Result:=Soz+'дук';
end;
if ((Unsuz_aldy_unduu(Soz)='ө') or (Unsuz_aldy_unduu(Soz)='ү')) then
begin

```

```

{“сөк”, “күт” болсо сөктүк, күттүк}
  if isKatkalanUnsuz(Soz[Soz_uz]) then Result:=Soz+'түк';
    {“көр”, “сүз” болсо көрдүк, сүздүк}
    if isJumshakUnsuz(Soz[Soz_uz]) then Result:=Soz+'дүк';
  end;
end;
end;

```

Бул функцияда этиштин кайсы мүчөсү улангандыгын аныктайт.

```
function isEtish_Muchosu(Mucho:String):integer;
```

```
var i,j:integer;
```

```
begin
```

```
  Result:=0;
```

```
  for i := 1 to 11 do begin
```

```
    for j:=1 to 20 do begin
```

```
      if Mucho=Mucho_Etish[i,j] then
```

```
        begin
```

```
          Result:=i;
```

```
          Exit;
```

```
        end;
```

```
      end;
```

```
    end;
```

```
  end;
```

```
function
```

```
Jondoguch(Soz:string;Mucho:String;SozTurkumu:string):String;stdcall;
```

```
var Soz_uz:integer;
```

```
ZatAtooch_Muchosu,Etish_Muchosu:integer;
```

```
begin
```

```
if SozTurkumu='этиш' then
```

```
begin
```

```
  if Etish_Muchosu > 0 then
```

```
    begin
```

```
      case Etish_Muchosu of
```

```
1:Jondoguch:=Etish_Belgiluu_OtkonChak_BirinchiJak_Jekelik(Soz,Soz_uz);
```

```
2:Jondoguch:=Etish_Belgiluu_OtkonChak_EkinchiJak_Jekelik(Soz,Soz_uz);
```

```
3:Jondoguch:=Etish_Belgiluu_OtkonChak_UchunchuJak_Jekelik(Soz,Soz_uz);
```

```
4:Jondoguch:=Etish_Belgiluu_OtkonChak_BirinchiJak_Koptuk(Soz,Soz_uz);
```

```
else Result:=Soz;
```

```
end;end;end;end;
```

Жогоруда көрсөтүлүп жаткан бул коддор китепкана файлында(DLL) реализацияланган жана негизги программа бул функцияларга кайрылганда гана иштеп жыйынтык кайтарат.

Колдонулган адабияттар

1. К.Тыныстанов Кыргыз тилинин морфологиясы. Б.: «Бийиктик», 2006.- 112 б.
2. Үсөналиев С., Өмүралиев Б. Азыркы кыргыз тилинин таблицалары: Орто мектептердин окуучулары, мугалимдери жана жогорку окуу жайларынын студенттери үчүн. Б.: «АРХИ», 2003.-120 б.
3. www.kabarat.kg сайты.

УДК 330:808.2:809.434.1

С.Ж.Карабаева, С.С.Рыспаева

СПОСОБЫ ПЕРЕВОДА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ С РУССКОГО ЯЗЫКА НА КЫРГЫЗСКИЙ

Перевод специальной отраслевой терминологии, в том числе и экономической, осуществляется различными способами, а именно с помощью межъязыковых трансформаций: лексических, лексико-семантических и лексико-грамматических. Главная задача переводчика заключается в верном выборе того или иного приема в ходе процесса перевода, чтобы точно передать значение каждого термина.

Одним из самых простых лексических способов перевода экономического термина является метод транскодирования. Транскодирование – это побуквенная или пофонемная передача исходной лексической единицы с помощью алфавита языка перевода.

Однако при переводе способом транслитерации не следует забывать и о "фальшивых друзьях переводчика", которые, несмотря на внешнюю схожесть, имеют разные значения. Это псевдоинтернационализмы – слова исходного и целевого языков, не имеющие подобных лексических значений. Транслитерационный способ перевода таких слов приведет к неоправданному семантическому калькированию, нарушению норм лексической сочетаемости, стилистической неадекватности русского соответствия и, наконец, к грубым искажениям лексического смысла слова, которое переводится. И хотя эти слова довольно часто встречаются в экономических текстах, однако они не имеют статуса экономических терминов.

Данный способ часто применяется при переводе названий фирм и различных корпораций, а также финансовых учреждений. Термины также подлежат другому лексическому приему перевода – калькированию – передаче не звукового, а комбинаторного состава слова, когда составные части слова (морфемы) или фраземы (лексемы) переводятся соответствующими элементами языка перевода.

Наиболее распространенным лексическим приемом перевода экономических терминов является описательный способ передачи значения терминознака. Такой прием применяется при переводе тех экономических понятий и реалий, которые уже давно известны в постиндустриальных обществах, но только сейчас начинают появляться в русском социуме. Передача значений таких терминов возможна только путем раскрытия и дополнительного пояснения содержания новых терминологических единиц. К таковым относятся современные формы торговли и предоставления финансовых услуг.

В случае, если специальный словарь не дает точного эквивалента или же когда применение калькирования, транслитерации или описательного перевода неуместно, возможны также лексико-семантические и лексико-грамматические приемы перевода. В частности, к вышеупомянутым трансформационным приемам, применяемым при переводе специализированных терминов, можно отнести конкретизацию и генерализацию.

Конкретизация – процесс, при котором единица более широкого содержания передается в языке перевода единицей конкретного содержания.

Иногда в русском языке необходимо производить замену слова или словосочетания, имеющих более широкий спектр значений, эквивалентом, который конкретизирует значение согласно контексту или стилистическим требованиям. В первую очередь, такая замена предполагает поиск синонимического эквивалента в языке перевода, который будет более конкретно и стилистически оправдано передавать профессионализм данной лексической единицы.

При переводе экономических терминов также возможно применение приема генерализации. Генерализация исходного значения имеет место в тех случаях, когда мера информационной упорядоченности исходной единицы выше меры упорядоченности единицы, что соответствует ей по содержанию в языке перевода.

Еще одним лексико-грамматическим приемом перевода современных экономических терминологических единиц является метод компрессии. Компрессия – это более компактное изложение мыслей благодаря опущению лишних элементов и позаказного контекста. Этот метод обычно применяется переводчиками при переводе профессиональной терминологии на уровне макроконтракта, реже – на микроуровне, так как это может привести к неоправданному опущению части лексического значения данного термина.

Настоящее время – это время утраты старых экономических догм, время становления новой модели экономики, появление в связи с этим новых профессий. Магическое слово «рынок» символизировало этот поворот в экономическом развитии. За ним последовала целая лавина новых «экономических» слов – хронологических маркеров происходящих перемен. Эта лавина смела границы традиционного узкопрофессионального употребления и щедро выплеснулась на книжные полки в виде многочисленных актуальных изданий по менеджменту и маркетингу, лизингу и

консалтингу, бухучету и аудиту. Экономические термины зазвучали в устной речи на радио и телевидении. Так, большинство ключевых экономических терминов оказались «на слуху» у значительной части общества. В этих условиях не могло не возникнуть повышенного внимания к активно формирующейся экономической терминосистеме.

Термины-словосочетания, выражающие единые целостные понятия, обладают разной степенью смысловой разложимости, в целом они более устойчивы по сравнению со свободными словосочетаниями общелитературного языка по своей лексико-семантической организации. Их можно отнести к числу лексических словосочетаний, характерной особенностью которых является то, что место одного из компонентов заполняется не любым словом соответствующей категории, а лишь некоторыми, образующими определенную семантическую группу.

Устойчивые терминологические словосочетания гораздо легче поддаются переводу, чем сложные слова – термины, так как в них все компоненты грамматически оформлены, что облегчает раскрытие смысловых связей между ними.

В терминах-словосочетаниях грамматическое оформление может выражаться: суффиксами (унгудан кийин келүүчү аффикстер); предлогами (сөздүн алдына келүүчү аффикстер); окончаниями (жалгоолор). Поэтому обычно смысловое содержание терминологических словосочетаний не допускает никаких неточностей в толковании терминов. Большое внимание уделяется систематичности вновь создаваемых терминов. Во многих областях разработаны специальные правила образования терминов для понятий или объектов определенного класса.

Термины-словосочетания создаются путем добавления к термину, обозначающему родовое понятие, конкретизирующих признаков с целью получить видовые понятия, непосредственно связанные с исходным. Такие термины фактически представляют собой свернутые определения, подводящие данное понятие под более общее и одновременно указывающие его специфический признак. Таким образом, образуются своеобразные терминологические гнезда, охватывающие многочисленные разновидности обозначаемого явления. Например, термин «налог»:

- подоходный налог – доходго (кирешеге) жараша алынуучу салык;
- налог сельского хозяйства – айыл-чарба салыгы;
- индивидуальный налог – жеке салык;
- косвенный налог – кыйыр салык (сбор в пользу государства, который берется с граждан или хозяйственных организаций только при осуществлении ими определенных действий);
- прямой налог – тике налог (сбор в пользу государства, взимаемый с каждого гражданина или хозяйственной организации);

Термин – сложное слово, представляет собой чаще всего сочетание двух или больше основ имен существительных, которые совпадают с формами, приводимыми в словарях:

– *чистая прибыль* – накта пайда (часть прибыли, остающаяся в распоряжении хозяйственной организации после уплаты налогов и других обязательных платежей);

– *жфффект дохода* – киреше эффектиси (при снижении цен товар становится по отношению к общей величине дохода человека более дешевым и потому покупатель способен приобрести этот товар в большом количестве);

– *эмиссия денег* – кагаз акчаларын чыгаруу (выпуск государством в обращение дополнительного количества денежных знаков).

Терминологическое устойчивое словосочетание обычно образуется сочетанием имени прилагательного с именем существительным, причастия с существительным или нескольких существительных, соединенных предлогами:

◇ метод бухгалтерского учета (бухгалтердик эсептоо ыкмасы);

◇ повышение квалификации (адистикти жогорулатуу);

◇ погашение убытков (чыгымды жоюу) и т.д.

Прежде всего, следует определить, к какой лексико-смысловой категории относятся компоненты сложного слова, т.е. что именно они обозначают: предметы, действия, свойства и т.д. Сложное слово – термин, оба компонента которого обозначают предметы (т.е. машины, механизмы, приборы и т.д.), переводится по-разному, в зависимости от того, в каком соотношении находятся между собой данные предметы.

Если второй предмет – часть первого, то русский эквивалент имеет вид: существительное ед.ч., им. падежа + существительное ед.ч. род. падежа. Например:

◇ система контроля – башкаруу системасы;

◇ величина спроса – талаптын өлчөмү.

Если первый предмет – часть второго, то первый компонент переводится при помощи прилагательного, так как он определяет качественную особенность второго предмета, отличающую его от других подобных предметов. Например:

◇ рыночное предложение – рыноктук сунуш;

◇ резервные требования – резервдик талаптар.

Если же первый компонент сложного слова обозначает предмет, а второй – его свойство, т.е. существенную характеристику предмета – вес, площадь, толщину, скорость, давление и т.д., то русский эквивалент второго компонента получает форму именительного падежа, а эквивалент первого компонента – существительное в родительном падеже. Например:

◇ реквизиты банка – банк реквизиттери;

◇ монополизация рынка – рынокту монополизациялоо;

◇ факторы производства – өнүдүрүш факторлору.

Для того чтобы знать, в каком числе поставить существительное, обозначающее предмет, нужно в микроконтексте сложного слова найти соответствующий термин в качестве самостоятельного слова и определить его грамматическое число. В самом сложном слове грамматическое число определить нельзя, так как компоненты сложного слова пишутся, чаще всего,

отдельно, однако они – не самостоятельные слова, а лишь основы. Поэтому число предметов, обозначенных первым компонентом, в сложном слове не выражается.

При анализе сложного слова вида «предмет + свойство» нужно обратить внимание на то, относится ли понятие, выраженное вторым компонентом (т.е. свойство), к предмету, обозначенному первым компонентом. Если первый компонент сложного слова-термина обозначает предмет, а второй – действие, происходящее с этим предметом, то русский эквивалент второго компонента будет иметь форму именительного падежа, а эквивалент первого компонента – форму родительного падежа. Например:

Одавление банка – банктын кысымы т. д.

Особую трудность при переводе представляют многокомпонентные сложные слова. Прежде всего, нужно раскрыть значение основного компонента. Большую роль при этом, естественно, играет контекст. Затем в составе многокомпонентного сложного слова-термина следует найти внутренние термины, если они имеются, с относящимися к ним словами. В приведенных ниже примерах иллюстрируется последовательность перевода многокомпонентных терминов.

- эластичность спроса по цене – баанын суроо-талаб ийкемдүүлүгү (масштаб изменения величины спроса при изменении цены на один процент);
- безналичные денежные средства – жок турган акча каражаттары (суммы, хранящиеся на счетах граждан, фирм и организаций в банках и используемые для расчетов путем изменения информации в документах, подтверждающих, кому какая сумма таких денежных средств принадлежит);
- внутренний государственный долг – мамлекеттин ички карызы (задолженность государственных органов управления перед гражданами, банками и фирмами своей страны, а также иностранцами, купившими ценные бумаги внутренних займов).

Таким образом, из всего вышеуказанного следует вывод о том, что из-за сложного и многогранного характера образования терминов возникают трудности при их переводе. Рассмотрение специфики словообразовательных процессов современности обнаружило заметную интенсивность их протекания. Известные словообразовательные модели в экономической терминологии реализовались в виде множества конкретных предметных значений, значительно пополнив словарный состав языка. Высокую степень продуктивности обнаруживают словообразовательные элементы иноязычного происхождения – префиксы, суффиксы, производящие основы, а также основы собственных имен. Несмотря на стабильность и традиционность основных способов словообразования, результаты словообразовательных процессов по количеству полученных экономических новообразований оказались значительны.

Список литературы

1. Андрианов С.Н. Некоторые вопросы построения словарей специальной терминологии// Тетради переводчика. – Вып. 2. – М.: Международные отношения, 1964. – С. 78-91.
2. Аполова М.А. Specific English//грамматические трудности перевода. – М.: Международные отношения, 1977. – 134 с.
3. Арнольд И.В. Лексикология современного английского языка. – М.: Высш. шк., 1973. – 302 с.
4. Арнольд И.В. Стилистика. Современный английский язык: Учебник для вузов. – М.: Флинта: Наука, 2002. – 384 с.
5. Бархударов Л.С., Рецкер Я.И. Курс лекций по теории перевода. - М., 1968.-263 с.
6. Бархударов Л.С. Язык и перевод: Вопросы общей и частной теории перевода. – М.: Международные отношения, 1975. – 240 с.
7. Англо-русский словарь по бухгалтерскому учету, аудиту и финансам: 35.000 терминов/ Сост. Терехов Д.Ю. – М.: Аскери, 1994. – 512 с.
8. Борисов А.Б. Большой экономический словарь: 10 000 терминов. – М.: Книжный мир, 2003. – 895 с.

УДК 681.3

Ш.С.Качиева, Н.Ю.Шахнабиева

ИНТЕРНЕТ-ДИСКУРС КАК ОСОБЫЙ ВИД ДИСКУРСА

С внедрением в нашу жизнь Интернета как коммуникативного канала передачи данных, а затем и средства массовой коммуникации возникает принципиально новая форма коммуникации и формируется особый вид дискурса – Интернет-дискурс.

Специфика Интернет-дискурса настолько разнообразна, интересна, динамична, что привлекает лингвистов изучать различные аспекты данного явления: коммуникативный (как вербальное и невербальное общение), структурно-семантический (как фрагмент текста, превышающий предложение), структурно-стилистический (как нетекстовая организация разговорной речи), социально-прагматический (как текст, погруженный в ситуацию общения) и др.

Динамично развивающийся феномен Интернет-коммуникации (компьютерно- опосредованная коммуникация (КОК), Computer-Mediated Communication (СМС)), представляющая собой вербальное и невербальное взаимодействие коммуникантов в глобальной сети, позволяет говорить о появлении особой – виртуальной – коммуникативной среды, виртуальной языковой личности и новой формы языка – электронной. Материалом исследования послужил англоязычный сегмент одного из видов электронного дискурса – Интернет-дискурса. Д. Кристалл описывает сущность Интернет-

коммуникации формулой «устная форма речи + письменная форма речи + признаки, опосредованные компьютером».

Одной из особенностей Интернет-дискурса является то, что он является жанропорождающей средой. Ученые предлагают различные классификации дигитальных жанров. Л.Ю.Иванов разделяет, в свою очередь, исконно сетевые, т.е. порожденные самим использованием языка в сети (чаты, форумы), и заимствованные Интернетом из других сфер общения. Наиболее интенсивно развивающимся, на наш взгляд, является Интернет-вокабуляр, используемый в исконно сетевых жанрах, так как именно здесь наиболее ярко функционируют неологизмы и прослеживается их влияние на общелитературный язык. В зависимости от жанра или его подвидов для обозначения электронного языка используются термины – e-language, e-talk, net-lingo, leet, leetspeak, Internet short-hand, geekspeak, netspeak, chatspeak, weblish, Lolspeak, zlang, hackspeak, hackish, etc.

Ученые выделяют четыре основные лексические группы в Интернет-дискурсе:

- 1) принятые технические термины – HTML, http, Java, JPEG, XML, etc.;
- 2) лексемы, известные широкой аудитории Интернет-пользователей – home page, inbox, outbox, posting, blog, avatar, etc.;
- 3) лексемы, бытующие в среде пользователей определенных блогов – mouse potato, Gopher, Nub, N00b, Sp133, W00t, fr00b, etc.;
- 4) лексемы, употребляющиеся обычными людьми, которые находятся в курсе развития информационных технологий – the World Wide Web, website, roaming, surfing, delete, upload, download, etc.

Формирование Интернет-вокабуляра основано на общеупотребительной лексике английского языка и подчиняется его словообразовательным нормам, хотя и имеет некоторые особенности. Нами выявлены следующие способы словообразования в сетевых жанрах Интернет-дискурса:

1. Аффиксация (affixation) – googler, mailer, spammer, screenfull, hackitude, geekitude, vixen, matrixen, modemoid, crackable, clickable, newbie, geeky, cookie.

2. Конверсия (conversion) – Google – to google, flame – to flame, email – to email, always on – always-on, to search – search.

3. Словосложение (compounding) – longphoto (видео длительностью менее 90 секунд), netman, domain name, cyberspace, chat room, Bluetooth, v-mail (voicemail) – усеченная основа + полная основа; высокопродуктивной является усеченная основа e- (electronic) – email, e-signature, e-tailer, e-zine, e-learning, e-business, e-book, e-cash, e-commerce, e-money, e-shop.

4. Аббревиация (abbreviation) / инициализмы и акронимы – DWT (Driving While Texting), ASL (Age, sex, location?), BD (Big deal), FAQ (Frequently asked questions), DIAF (Die in a fire), FYI (For your information), GAL (Get a life), GFY (Good for you), HAND (Have a nice day), HTH (Hope this helps), POS (Parent over shoulder / Piece of shit), EBD (End of business day), SOS (Same old shit), SSDD (Same day, different shit), SWW (Sorry, wrong window (typing in the wrong box)).

5. Усечение (clipping) – pic (picture), zine (magazine).

6. Сопряжение (blending) – podcasting (iPod+broadcasting – an audio file similar to a radio broadcast, which can be downloaded and listened to on a computer, iPod, etc.); digerati – people who know a lot about computers and the Internet (digital + literati (people who know a lot about books); netiquette – the polite way of expressing yourself or communicating with other people when you are using the Internet (Net + etiquette); netizen (someone who spends a lot of time using the Internet (Net + citizen); Weblish – an informal language used by people on the Internet that is based on English, uses no capital letters, and includes a lot of abbreviations (Web + English); webzine – a magazine that is published on the Internet, written by people who are not professional writers (web + magazine); screenager – a young person who spends a lot of time using computers and the Internet (screen + teenager); hackish – language used by hackers based on the English language (hacker + English);

webinar – an interactive seminar conducted over the World Wide Web (Web + seminar); Wictionary – Wikipedia+dictionary; Zlango – language for texting containing symbols-Han-characters (hieroglyphs) (lingo + slang, the initial Z - after L. Zamengoff, the inventor of Esperanto).

7. Эллипсис (ellipsis) – froggy (programme).

8. Создание неологизмов (coinage) на основе игры слов – internot – человек, отрицательно относящийся к Интернету; mouse elbow (от tennis elbow) – физические проблемы, вызванные чрезмерным использованием мыши; nyetwork – сеть, в которой произошел сбой – от русского слова «нет» – nyet; e-tailer (a company that sells things on the Internet, ср. retailer); clicks-and-mortar (ср. bricks-and-mortar), freeware (software that is available free on CD-ROM or from the Internet); shareware (software that you use free for a short time than pay for), keypal (ср. penpal).

9. Аллитерация (alliteration) – silver surfer (пользователь Интернета, которому за 50); looky-loo (человек, читающий сообщения других в телеконференции, не отправляя собственных).

Следует отметить, что большое количество новых лексем в Интернет-дискурсе образовано смешанными способами, напр., лексические единицы ICWUM (I see what you mean), WURSC (Wow, you are so cool) образованы с помощью аббревиации с включением сугубо компьютерного сокращения – так называемой звуковой аббревиации: C for 'see', U for 'you'; R for 'are' ; M8 (mate), O3 (out of office), W8 (wait), G2G (Got to go), B4 (before), L8r (later) – буква + цифра.

Содержание Интернет-вокабуляра характеризуется:

- 1) большим количеством слэнговых слов – dunno (don't know), gonna (going to), cuz (because); da (the), dat (that), der (there), shudda (should have), sup (what's up), wanna (wont to), yo (your), wile (while); plz (please), soz, srly (sorry), thnx (thanks);
- 2) использованием эмотиконов (последовательность из вспомогательных символов и знаков, обозначающая эмоции коммуниканта) вместо слов,

описывающих эмоции -): (happy), (crying), % (confused), :-o (shocked), и заглавных букв для придания речи экспрессивности – JUST DO IT;

3) большим количеством аббревиацией фразических предложений - BRB (Be right back), Bb (Bye Bye), Nvm (Never mind), BTW (By the way), Wd (Well done), AFAIC (As far as I care; As far as I'm concerned), AFAIK (As far as I know), AFAIR (As far as I remember), AFK (Away from keyboard), ASAP (As soon as possible), AYH (Are you high?), BBL (Be back later), BBS (Be back soon), IACL (I am currently laughing), ICYDK (In case you didn't know), IDK (I don't know), ILU (I love you), IMO (In my opinion), IMHO (In my humble / honest opinion), IMNSHO (In my not so humble / honest opinion), IRL (In real life), IYDMMA (If you don't mind me asking), JJ / JK / OJ (Just joking / Just kidding / Only joking), JOOC (Just out of curiosity), MYOB (Mind your own business), NOYB (None of your business), NP (No problem), OMG (Oh my God! / Goodness! / Gosh!), OT (Off topic), ПЕВКАС (Problem exists between the keyboard and the chair), SMH (Shaking my head), TIA (Thanks in advance), TTFN (Ta ta for now), TYT (Take your time), TTYL (Talk to you later), TY (Thank you), WB (Welcome back), WDUWTA? (What do you want to talk about?), YW (You're welcome), YSVW (You are so very welcome), ROFL (Rolling on the floor laughing), LLAH (Laughing like a Hyena), LMAO (laughing my ass off), GMAT (Great minds think alike), также имеют место сугубо компьютерные сокращения, напр., цифровые аббревиатуры – 1 (восклицательный знак), 2 (to, too, two), 4 (for, four); «звуковые» аббревиатуры – C (see), K (okay), O (oh), CU (See you), B (be), tho (though), IC (I see); OIC (Oh, I see); Ppl (people), графические аббревиатуры – 1337 (Leet), S2 (heart), @ (at);

4) использованием лексем, образованных в результате метафорического переноса – одного из самых продуктивных и экспрессивных источников новообразований в языке – flame, spam, ham, salami, mirror, backdoor, traffic, virus, window (анализ лексем, образованных в результате метафорического переноса – предмет отдельного исследования);

5) использованием лексем, образованных в результате различных семантических процессов: расширение значения (Google: used to mean a search engine (trademark) now to google – to search for smth on the Internet using any search system), сужение значения (used to – a wine buff, a film buff, a Tom Cruise buff, now – a buff (a computer buff mainly), мелиорация (dead tree – disparaging referring to a paper edition of a document, book – He was reading the dead tree edition of the Guardian on the train.), пейорация (geek: used to mean – a boring and unattractive social misfit, now – a person who is very knowledgeable about computing).

В Интернет-коммуникации появляются слова, разграничивающие виртуальный, электронный мир и «иной» мир – реальный, физический: напр., the Outernet (традиционные СМИ в противоположность the Internet); snail mail, paper mail (в противоположность e-mail); meat space, offline world (в противоположность virtual world); clicks-and-mortar – a business that operates by using the Internet and in traditional ways (в противоположность bricks-and-mortar

(a traditional business that does not operate on the Internet); cybrarian (в противоположность librarian); new economy – the economy that has developed as a result of Internet business activity (в противоположность old economy – the economy that is based on traditional methods of doing business rather than on Internet business activity); dead tree document – paper version of a document (в противоположность online document) и др.

Причинами формирования Интернет-вокабуляра, характеризующегося описанными специфическими характеристиками, являются:

- 1) экономия времени и усилий (saving keystrokes), что порождает избыточное количество разного рода сокращений;
- 2) поведенческие или культурные стереотипы, являющиеся маркерами принадлежности к той или иной социальной группе;
- 3) засекречивание информации от взрослых в социальных группах подростков;
- 4) попытка избежать употребления нецензурного выражения, которое в сокращенном виде теряет элемент непристойности;
- 5) желание придать речи экспрессивность и эмоциональность;
- 6) желание сообщить свою реакцию на шутку – напр., LOL.

Исследование Интернет-вокабуляра показало, что когнитивные операции, имеющие место в процессе формирования сетевых лексических подсистем, характеризуются эвристическими особенностями, а словообразовательные процессы подчиняются законам конкретного языка и влияют на конкретный литературный язык. Несмотря на кажущееся упрощение нормативного литературного языка, английский язык, безусловно, обогащается интересными языковыми феноменами, появление которых продиктовано современными технологиями и темпом жизни, и вывод исследователей об "интернетизации" языка сегодня не кажется абсурдным. Наиболее интересным и перспективным, с точки зрения исследования Интернет-вокабуляра и новых значений у известных слов, автору представляется феномен когнитивной метафоры.

Список литературы

1. Галичкина Е.Н. Специфика компьютерного дискурса на английском и русском языках. / Е.Н. Галичкина: Дисс. канд. филол. наук. – Астрахань, 2001.
2. Горошко Е.И. Лингвистика Интернета: формирование дисциплинарной парадигмы / Е.И. Горошко // Жанры и типы текста в научном медийном дискурсе. – Орел: Картуш, 2007. – Вып. 5. – С. 223–237.
3. Дементьев В.В. Изучение речевых жанров: обзор работ в современной русистике / В.В. Дементьев // Вопросы языкознания. – 1997. – № 1. – С. 37–35.
4. Иванов Л.Ю. Язык в электронных средствах коммуникации / Л.Ю. Иванова. Культура русской речи. – М.: Флинта-Наука, 2003.
5. Леонтович О.А. Компьютерный дискурс: языковая личность в виртуальном мире / О.А. Леонтович. Языковая личность: институциональный и персональный дискурс. – Волгоград, 2000.

ТҮШҮНДҮРМӨ СӨЗДҮКТӨРДҮ АВТОМАТТУУ КОТОРМО ПРОГРАММАЛАРЫН ЖАНА РЕДАКЦИЯЛОО СИСТЕМАЛАРЫН ТҮЗҮҮ

Түшүндүрмө сөздүк деп, башкы максаты кайсы тилде болбосун сөздөрдү түшүндүрмө маанисин ошол тилде кеңири түшүндүргөн сөздүктү айтышат. Кээ бир түшүндүрмө сөздүктөрдө сөздөрдүн мааниси керектүү учурда сүрөттөлүштөрдүн жардамы менен ачылат. Эмоционалдуу, экспрессивдүү жана стилистикалык коннотация атайын белгилер менен көрсөтүлөт.

Негизинен түшүндүрмө сөздүк төр ушул кездеги адабияттын тили сөздүгү болуп саналат. Алардын кээ бири катуу нормативдүү мүнөздүү алып жүрөт. Б.а. фактыларды гана тандап, бүтүн бойдон тийиштүү адабияттык нормада бул фактыларды жалгыз туура деп сунуш кылат жан кичине жөнөкөй бир жакка сүйлөөдө баарын четке кагат. Буга типтүү мисал болуп француз тилинин академиялык сөздүгү эсептелет.

Түшүндүрмө сөздүктөрдүн негизги максаты–сөздөрдүн маанисин түшүндүрүү жана аларды сүйлөөдө колдоно билүү, туура эмести тууралоо, сөздү тилдин стилине байланышын көрсөтүү, окучууларга атоочторду, жактарды жана грамматикалык формасынын өзгөчөлүктөрөн көрсөтүү, сөздөр кандай жазылаарын жана айтылаарын көрсөтөт.

Түшүндүрмө сөздүктөр эреже боюнча (бардык эле учурда эмес) нормативдүү болушат б.а. сөздөр адабият тилинин формасына дал келген сунушу боюнча түшүндүрүлөт. Бардык көрсөтүлгөн орус тилинин түшүндүрмө сөздүк төрү нормативдүү, мында жалгыз гана В.И. Далянын “Толкового словаря живого велико русского языка” сөздүгү кирбейт.

Компьютер технологиясынын өнүгүшү менен интернет мейкиндигинде биз каалагандай маалыматты каалаган тилибизде таба алабыз. Ал тургай бул маалыматтарды каалаган тилге которуу, билбеген терминдерди табуу биз үчүн көйгөй болбой калды. Онлайн режимде иштеген сайттардын жардамы менен же оффлайн программаларды(Prompt, Lingvo) колдонуп тексттерди, терминдерди көптөгөн тилдерге которо алабыз. Интернет желесинде күнүгө миндеген макалалар жазылып, чыгарылып, которулуп, өзгөртүлүп, көбөйтүлүп, жарыяланып турат. Тексттерди сайты жана ошондой эле Prompt которуучу программасы сыяктуу эле рерайтинг жана копирайтингде да жогоруда айтылган операцияларды жасоо үчүн жардамчы программаларды колдонобуз.

Учурда компьютер техникасы менен инновациялык информациялык технологиялардын өтө тездик менен өнүгүп жатышы дүйнөлүк деңгелдеги парадигмалардын, концепттердин, көз караштардын, интеллектуалдык ойломдун кескин алмашып, улам өзгөрүп, прагматикалык негизде келечекке багытталгандыгын күбөлөп, эл аралык, саясий-экономикалык, илимий-техникалык, маданий-социалдык сан түркүн байланыштардын глобалдык масштабда өрүш жайып, кескин өсүп баратканын маалымдайт. Ааламдашуунун

мындай шартында маалыматтарды топтоо, сактоо, жеткирүү, иштетүү жана башкаруунун ишенимдүү негизин түзгөн терминологиялык, лексикографиялык, лингвоинформациялык базаларга, жасалма интеллект, баарлашуу жүйөлөрүнө, маалымат издөө, эксперттик, автоматтык котормо, текстти иштетүү системаларына, тилди окутуу-үйрөтүү технологияларына, ошондой эле бул озуйпаны аркалаган компьютердик жана колдонмо лингвистика багытындагы заманбап изилдөөлөргө болгон муктаждык барган сайын күч алууда.

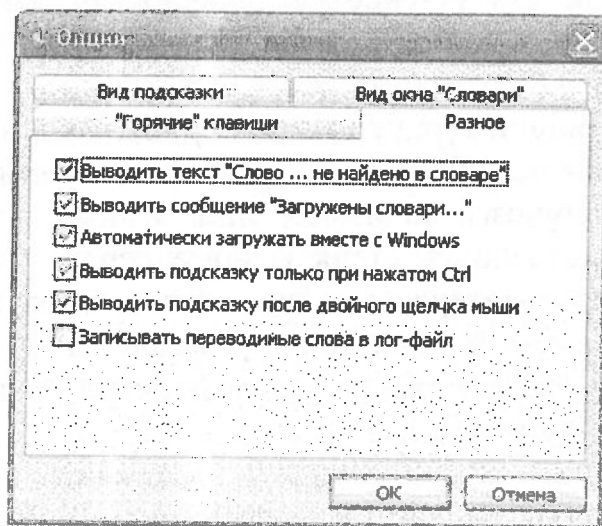
Ошондой эле, тилдин түрдүү деңгээлдерин, конститутивдик бирдиктерин жана андагы өз ара окшош байланыштарды жана айырмачылыктарды, өзгөчө алардагы басымдуу мүнөзгө ээ изоморфизм мыйзам ченемдүүлүктөрдү б.а. лингвисттик жана экстралингвисттик феномендерди талдоо жана синтездөө менен келечекте компьютердик жана информатикалык лингвистиканын маселелерин (мисалы, автоматтык которуу, маалымат берүү, жыйноо, сактоо, оозеки башкарылуучу жана аткарылуучу технологияларды ишке ашыруу, ж.б.) чечүү мүмкүндүктөрү кеңейүүдө.

Ошентип, тилдик кубулуштарды (фактыларды) автоматтык түрдө жыйноо, талдоо, саноо, башкаруу (классификациялоо, инвентаризациялоо) жана аларды түрдүү прикладдык максаттарда пайдалануу, колдонуу ал үчүн инновациялык компьютердик техникаларды, маалыматтык (информациялык) жана телекоммуникациялык технологияларды кеңири колдонуунун абдан натыйжалуу жана пайдалуу экендигине, биздин ушул илимий изилдөөдө ишибиздин жыйынтыктарында өзгөчө маани берилди. Анткени кыргыз тилиндеги математика жана информатика багытындагы сөздөрдүн негизинен жалпы эле илимий техникалык жана ошол сыяктуу тилибиздин электрондук базасын ар максатуу көрсөткүчтөрдү (энциклопедиялык, түшүндүрмө, котормо, электрондук иш кагаздарды жүргүзүү, терминдердин электрондук базасын түзүү, презентациялык слайд-фильмдер, веб-ресурстарды түзүү, мультимедиялык программаларды иштеп чыгуу ж.б.) түзүү жана негиздөө иштери бүгүнкү күндөгү эң актуалдуу маселелерден. Мындай иштерди аткаруу комплекстүү ыкмаларда, технологияларга жана түрдүү адистердин биргелешип кызматташуусун да талап кылат.

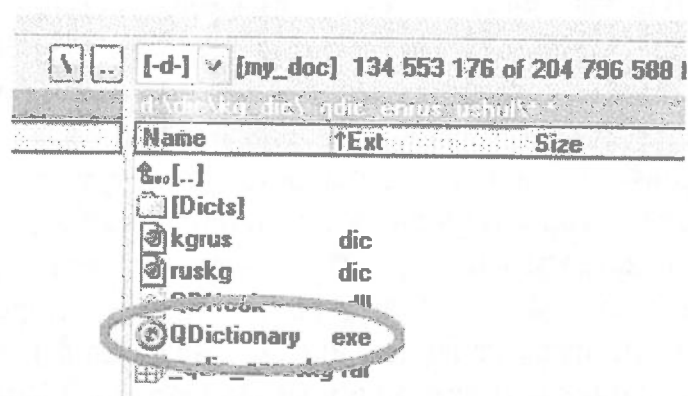
Албетте, табигый тилди сыпаттоодо математикалык теоремалардын мааниси чоң роль ойнойт. Математикалык лингвистиканын методдору менен тилдин ар түрдүү тексттеринин санын, көлөмүн, структурасын болжолдоого болот. Ошентип, маалыматты (информацияны) таратуу, жыйноо жана сактоо үчүн кадимки табияттык тил гана эмес, ар кандай жасалма тилдерди да колдонсо болот. Алардын ичинен негизги орунду математика тили ээлейт. Ал өзүнчө бир белгилердин (символдордун) системасын түзөт. Мисалы, тексттерди компьютерге түшүрүү же окуу процессинде колдонуу үчүн математикалык тил (белгилер) колдонулат.

Азыр лингвистикалык маселелерди компьютердик, информациялык технологиялар менен математикалык лингвистиканын ыкмалары менен изилдөө иштери өнүгө баштады. Мисалы, математикалык лингвистиканын чегинде тилдин биринчи формалдуу моделдери пайда болгондо, аларды түзүү

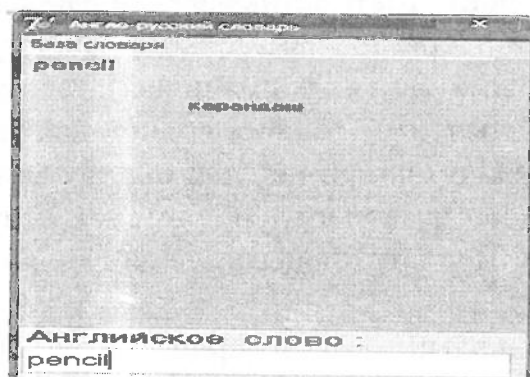
системасынын абалдарынын көптүгү кайсы бир белгилүү ыкма менен берилген, ал эми абалдын көптүгүн берүүдө башка ыкмалар да колдонулуп алардын эквиваленттүүлүгү негиздүү божомолдоодон башталган. Эрежелердин көптүгү абалдардын көптүгү менен теңделип, белгилүү моделдин шартталышы прогноздолот.



Англо-орус сөздүктөрүнүн электрондук базасы



Берилиштер базасына сөздүктү киргизүү



Сөздүктөн сөздү издөө

Нареч, 1. бүгүн

2. перен, (теперь) азыркы учур,

Азыркы убакыт, азыр

Мына ушундай электрондук сөздүктөр базасында төмөнкүдөй максаты камтыйт:

сөздөрдү киргизүү, алардын ар кандай маанилерин табуу;

алфавиттик тартипте жайгаштыруу;

сөз көрсөткүчтөр боюнча сөздү издөө;

сөз көрсөткүчтөрүнүн жалпы санын табуу.

Бул электрондук сөздүктөр базанын моделин ар түрдүү илимдердин тармактарында электрондук которгуч катары колдонсо болот. Ошондой эле, сөздүктү издөө процессин автоматташтырууга жана эмгек ресурстарын үнөмдөөгө мүмкүндүк берээри шексиз.

Негизинен, терминдерди жөнөкөй жол менен издөө, белгилүү тартипте түзүү өтө көп убакытты талап кылат. Ошентип, көрсөтүлгөн алгоритмдердин жардамы менен алфавит боюнча иреттелген жана ар бир сөз формасынын колдонуу көрсөтүлгөн электрондук сөздүгүнө ээ болуу убакытты эффективдүү жана үнөмдүү пайдаланууда пайдасы чоң.

Ошондой эле, бул макала берилиштердин (информациялык) базаларын, автоматтуу котормо программаларын жана редакциялоо системаларын түзүү сөз көрсөткүчтөрдүн санын табуу менен байланышкан.

Азыркы мезгилде компьютер техникасы программисттер, инженерлер гана эмес ар түрдүү адистеги колдонулуучулар, лингвисттер, котормочулар үчүн да англис тилиндеги маалыматтарды тез ыкчамлыкта которууда эң маанилүү орунду ээлейт. Ушуга байланыштуу кардарлар үчүн компьютердик сөздүктөр чет тилиндеги маалыматтарды оперативдүү которууда, убакытты үнөмдөө эң ылайыктуу курал болуп саналат. Мындан сырткары, азыркы учурда чет тилдик текстерди которууда тагыраак которгон программдык-котормочулар бар. Көрүнүктүү испан лексикографы Х. Касарес өзүнүн «Введение в современную лексикографию» (орус тилине которулган) деген эмгегинде лексикография бул техника жана сөз куруу искусствосу же башкача айтканда «лексикография» деген сөздүн синоними «сөздүк техника», деп аныктама берген.

Октябрь революциясына чейин кыргыз тил илими атайын изилденүүчү объект катары каралган эмес.

Кыргыз жазуу иштеринин калыптануу процесси Касым Тыныстановтун эмгектерине байланыштуу.

Кийинки мезгилде компьютер техникасынын өнүгүүнүн негизинде сөздүктөрдүн жаңы типтери - электрондук сөздүктөр пайда болду.

Мындай типтеги сөздүктөр лексикография тарыхында, анын өнүгүүсү менен бирге жаңы баскычтагы сапаттуу жаңы термин болуп калды.

Прикладдык лингвистиканын бир топ жылдан берки мезгилдеги өнүгүү тажрыйбасы индексөө, аннотация жана реферат түзүү иштерин

квантитативдик лингвистиканын ыкмаларын колдонбой жана тигил же бул тилдин жалпы информациялык базасын (фондун) түзбөй турмушка иш жүзүндө ашыруу мүмкүн эмес.

Колдонулган адабияттар

1. Автоматизация составления и ведения словарей для систем фразеологического машинного перевода текстов с русского языка на английский и с английского на русский /Г.Г. Белоногов, Ю.Г. Зеленков, Б.А. Кузнецов, А.П. Новоселов, Александрдр А. Хорошилов, Алексей А. Хорошилов. //Сб. "Научно-техническая информация", Сер. 2, | 12, ВИНТИ, 1993;
2. Интерактивная система русско-английского и англо-русского машинного перевода политематических научно-технических текстов. /Г. Г. Белоногов, Ю. Г. Зеленков, Б. А. Кузнецов, А. П. Новоселов, Н. А. Пашенко, Александрдр А. Хорошилов, Алексей А. Хорошилов. //Сб. "Научно-техническая информация", Серия 2, | 3, ВИНТИ, 1993.
3. Шаляпина З.М. Автоматический перевод: эволюция и современные тенденции // Вопросы языкознания. – 1996. – № 2. – С.105-117.
4. Сергеев В.Н. Словари – наши друзья и помощники. – М.: Просвещение, 1984.
5. Гүлзура Жумакунова ТҮРК ЛЕКСИКОГРАФИЯСЫНЫН ТАРЫХЫНАН (Түрк сөздүктөрүндө илимий принциптердин калыптанышы). – С. 61.

УДК 519.6

R.A.Eleouva, N.B.Zakariyanova, M.K.Bekbaeva

APPLICATION OF THE EIGENVALUES AND EIGENVECTORS OF MATRICES WITH STATISTICAL DATA PROCESSING

The article discusses a useful observation, which has a clear meaning and is useful for statistical data processing. Them arterials presented without superfluous mathematical wisdoms and is available to economists, sociologists and specialists in other fields who use statistical methods.

In the statistical analysis of the data table, which consists of several attributes, it is necessary to bear in mind the effect of a substantial multidimensionality, because of which we can come to a faithful conclusion while taking into account the entire set of interrelated features. For example, attempt to distinguish between two types of consumer behaviour first on the one feature (the cost of food), then on the other (the cost of manufactured goods and services) did not give the result, while the count of

both signs at the same time allowed to detect significant difference between the analyzed sets of families.

If the number of signs - a sufficiently large number, then the partition of the set of the objects in compact groups (the so-called clusters) can be challenging. This is the problem of classification or cluster - analysis. Once objects are grouped into homogeneous groups (classes), the problem arises of studying the relationship attributes within a single class. If a homogeneous group forms a "cloud" of elliptic type, then the methods of correlation analysis is used. When objects are placed in the vicinity of a curve, it is necessary to apply techniques of regression analysis.

The theory of the eigenvectors of matrices and their use in correlation analysis.

Assume that each of n objects described by k attributes (height, weight, length of skull, length and width of the upper jaw, and so on), and imagine the data's for a particular class of objects in a table form $X = \|x_{il}\|_{n \times k}$. Compute for each sign a mean

value $\bar{x}_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{il}$ and centres the data: $y_{il} = x_{il} - \bar{x}_l$. Then $\bar{y}_l = 0$, $l=1, \dots, k$. Denote

with $S = \|c_{il}\|_{k \times k}$ selective covariance matrix of features: $S = \frac{1}{n} Y^T Y$, that is c_{il} -

selective covariance of the i -th and l -th column of the matrix Y . The fact that the covariance matrix $S = \|c_{il}\|_{k \times k}$ is nonnegative definite matrix, in other words, a self-adjoint matrix should be reducible to diagonal form. Consequently, there is an orthogonal matrix U , which leading S to the principal axes: $U^T S U = \Lambda$. Here is Λ - diagonal matrix with nonnegative elements $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k$ on the main diagonal, which are the roots of the equation $\det(S - \lambda E) = 0$. They are called the Eigen values of the matrix S . Assume that all $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k$ positive and different. For Experimental data this condition is almost always performed. Note also that the columns $u_1, u_2, \dots, u_k$ of the matrix U represent the principal axes and determined uniquely up to choice of direction of the axis. They form an orthonormal basis in R^n , which has important properties.

1. The projections of objects on the first principal axis u_1 have the largest selective dispersion among the all projections for all sorts of directions in space R^n , and this maximum is equal to λ_1 .
2. The projections of objects on the second main axis u_2 have the largest selective variance of the projections for all sorts of directions in space R^n , which are orthogonal to the vector u_1 . Moreover, this maximum is equal to λ_2 .
3. The sum of the selective variances of the initial features $\text{tr } S = \sum_{l=1}^k c_{ll}$ to the similarity of matrixes S and Λ is equal to $\text{tr } \Lambda = \lambda_1 + \dots + \lambda_k$, i.e. the sum of sample variances of the projections of objects on the main axis.

4. This value can be regarded as a measure of the total scatter of the objects about their mass center. Interesting is there lative proportion of variation which is attributable to the first l main axes,

$$\gamma_l = \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_l}{\lambda_1 + \dots + \lambda_k}$$

If this value for some l is sufficiently close to 1, then the dimension reduce of space of attribute sis possible due to the transition from k the initial features to the l new features. Practice it is often possible to limit byt woor three components with out significant loss of information.

An example of use of the Eigen vectors of the matrix in correlation analysis.

The table shows the size of the j aws and teeth of thirty dogs (numbers 1 - 30), twelve wolves (numbers 31 - 42) and the fossil skull of unknown animal (No. 43), found in the quarter nary layer (according to De Bonis [1]). The figure shows measurable characteristics: 1 – the length of the skull, 2 – the length of the upper jaw, 3 – the width of the upper jaw, the following measure ments belong to the teeth: 4 – Length of the upper Carnivore, 5 – length of first upper molars, 6 – the width of the upper first molar. Need to find, to which of the classes (dogs or wolves) should be included an unknown animal.

Here we will deal with more modest goal: find and interpret the main components for this example.

The algorithm for determining the principal axes.

1. Ine achcolumn of the table we find the mean value.
2. From the column we sub tract the found average. There sult will be denoted by Table 2.
3. Then drawup a new Table 3 from the square soft he elements in Table 2. There sult will be donated by Table 3.
4. Ine achcolumn of Table 3 we find the new average.
5. The columns of Table 2 we divide by the square roots of the corresponding mean step 4. There sult is presented in the form of Table 4.
6. Table 4 is an oblong matrix (rows 43, columns 6). Multiply it by its trans poses as to obtain a matrix of dimension 6 by 6.
7. There sult of step 6 divide to 43. See Table 7.

Table 1						
	1	2	3	4	5	6
1	129	64	95	17,5	11,2	13,8
2	154	74	76	20	14,2	16,5
3	170	87	71	17,9	12,3	15,9
4	188	94	73	19,5	13,3	14,8
5	161	81	55	17,1	12,1	13

6	164	90	58	17,5	12,7	14,7
7	203	109	65	20,7	14	16,8
8	178	97	57	17,3	12,8	14,3
9	212	114	65	20,5	14,3	15,5
10	221	123	62	21,2	15,2	17
11	183	97	52	19,3	12,9	13,5
12	212	112	65	19,7	14,2	16
13	220	117	70	19,8	14,3	15,6
14	216	113	72	20,5	14,4	17,7
15	216	112	75	19,6	14	16,4
16	205	110	68	20,8	14,1	16,4
17	228	122	78	22,5	14,2	17,8
18	218	112	65	20,3	13,9	17
19	190	93	78	19,7	13,2	14
20	212	111	73	20,5	13,7	16,6
21	201	105	70	19,8	14,3	15,9
22	196	106	67	18,5	12,6	14,2
23	158	71	71	16,7	12,5	13,3
24	255	126	86	21,4	15	18
25	234	113	83	21,3	14,8	17
26	205	105	70	19	12,4	14,9
27	186	97	62	19	13,2	14,2
28	241	119	87	21	14,7	18,3
29	220	111	88	22,5	15,4	18
30	242	120	85	19,9	15,3	17,6
31	199	105	73	23,4	15	19,1
32	227	117	77	25	15,3	18,6
33	228	122	82	24,7	15	18,5
34	232	123	83	25,3	16,8	15,5
35	231	121	78	23,5	16,5	19,6
36	215	118	74	25,7	15,7	19
37	184	100	69	23,3	15,8	19,7
38	175	94	73	22,2	14,8	17
39	239	124	77	25	16,8	27
40	203	109	70	23,3	15	18,7
41	226	118	72	26	16	19,4
42	226	119	77	26,5	16,8	19,3
43	210	103	72	20,5	14	16,7
average	204,9535	106,4651	72,53488	21,05581	17,05814	16,8093
Table 4						
	1	2	3	4	5	6

1	-2,81171	-2,86441	2,491943	-1,3857	-0,32938	-1,23658
2	-1,88624	-2,18987	0,384368	-0,41145	-0,1607	-0,1271
3	-1,29394	-1,31298	-0,17026	-1,22982	-0,26753	-0,37365
4	-0,6276	-0,84081	0,051593	-0,6063	-0,21131	-0,82566
5	-1,62711	-1,7177	-1,94506	-1,54158	-0,27878	-1,56532
6	-1,51605	-1,11062	-1,61228	-1,3857	-0,24504	-0,86675
7	-0,07232	0,170986	-0,83581	-0,13866	-0,17195	-0,00382
8	-0,99779	-0,63845	-1,72321	-1,46364	-0,23942	-1,03112
9	0,260853	0,508252	-0,83581	-0,2166	-0,15508	-0,53802
10	0,594022	1,11533	-1,16858	0,056189	-0,10448	0,078361
11	-0,81269	-0,63845	-2,27783	-0,68424	-0,2338	-1,35986
12	0,260853	0,373345	-0,83581	-0,52836	-0,1607	-0,33256
13	0,557004	0,710611	-0,28118	-0,48939	-0,15508	-0,49693
14	0,408929	0,440799	-0,05933	-0,2166	-0,14946	0,366005
15	0,408929	0,373345	0,273443	-0,56733	-0,17195	-0,16819
16	0,001722	0,238439	-0,50303	-0,09969	-0,16633	-0,16819
17	0,853154	1,047877	0,606218	0,562797	-0,1607	0,407097
18	0,482966	0,373345	-0,83581	-0,29454	-0,17757	0,078361
19	-0,55356	-0,90826	0,606218	-0,52836	6,462765	-1,1544
20	0,260853	0,305892	0,051593	-0,2166	-0,18882	-0,08601
21	-0,14635	-0,09883	-0,28118	-0,48939	-0,15508	-0,37365
22	-0,33145	-0,03137	-0,61396	-0,996	-0,25067	-1,07221
23	-1,73816	-2,39223	-0,17026	-1,69746	-0,25629	-1,44204
24	1,852661	1,31769	1,493618	0,134129	-0,11572	0,489281
25	1,075267	0,440799	1,160843	0,095159	-0,12697	0,078361
26	0,001722	-0,09883	-0,28118	-0,80115	-0,26191	-0,78457
27	-0,70164	-0,63845	-1,16858	-0,80115	-0,21693	-1,07221
28	1,334398	0,845518	1,604543	-0,02175	-0,13259	0,612557
29	0,557004	0,305892	1,715468	0,562797	-0,09323	0,489281
30	1,371417	0,912971	1,382693	-0,45042	-0,09885	0,324913
31	-0,22039	-0,09883	0,051593	0,913526	-0,11572	0,941293
32	0,816135	0,710611	0,495293	1,537044	-0,09885	0,735833
33	0,853154	1,047877	1,049918	1,420135	-0,11572	0,694741
34	1,001229	1,11533	1,160843	1,653954	-0,01451	-0,53802
35	0,96421	0,980424	0,606218	0,952496	-0,03138	1,146753
36	0,37191	0,778064	0,162518	1,809833	-0,07636	0,900201
37	-0,77567	-0,43609	-0,39211	0,874556	-0,07074	1,187845
38	-1,10884	-0,84081	0,051593	0,445888	-0,12697	0,078361
39	1,260361	1,182783	0,495293	1,537044	-0,01451	4,187559
40	-0,07232	0,170986	-0,28118	0,874556	-0,11572	0,776925
41	0,779116	0,778064	-0,05933	1,926743	-0,0595	1,064569
42	0,779116	0,845518	0,495293	2,121592	-0,01451	1,023477
43	0,186816	-0,23373	-0,05933	-0,2166	-0,17195	-0,04491

Table 7					
1	0,958741	0,348183	0,612949	-0,032121	0,587251
0,958741	1	0,200333	0,661002	-0,085869	0,594653
0,348183	0,200333	1	0,369962	0,120454	0,354777
0,612949	0,661002	0,369962	1	-0,015032	0,762643
-0,03212	-0,085869	0,120454	-0,015032	1	-0,120108
0,587251	0,594653	0,354777	0,762643	-0,120108	1

Tables 4 and 7 were calculated on the popular program on the use of the spread sheet Microsoft Excel. The Eigen vectors and Eigen values of the matrix, shown in Table7, were calculated using variation methods. In the dissertation work [2], we proposed different algorithms for computing Eigen values and Eigen vectors of matrices on the base of variation method. In work[3], these methods were applied to some problems in the economy. In this paper, we propose the use of these algorithms to some problems of statistical data.

$$\bar{c}_1 = \begin{bmatrix} 0.43 \\ 0.43 \\ 0.23 \\ 0.44 \\ 0.46 \\ 0.42 \end{bmatrix}, \bar{c}_2 = \begin{bmatrix} 0.23 \\ 0.38 \\ -0.89 \\ -0.07 \\ 0.02 \\ -0.10 \end{bmatrix}, \bar{c}_3 = \begin{bmatrix} 0.53 \\ 0.39 \\ 0.38 \\ -0.40 \\ -0.27 \\ -0.44 \end{bmatrix}, \bar{c}_4 = \begin{bmatrix} 0.11 \\ 0.01 \\ -0.02 \\ -0.52 \\ -0.31 \\ 0.79 \end{bmatrix}, \bar{c}_5 = \begin{bmatrix} 0.05 \\ -0.20 \\ 0.00 \\ -0.58 \\ 0.78 \\ -0.09 \end{bmatrix}, \bar{c}_6 = \begin{bmatrix} 0.68 \\ -0.69 \\ -0.13 \\ 0.18 \\ -0.09 \\ -0.01 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 = 4.100, \lambda_2 = 0.883, \lambda_3 = 0.639, \lambda_4 = 0.259, \lambda_5 = 0.097, \lambda_6 = 0.022$$

Trace of a matrixes qualto 6, here with the first eigenvalue is 68.3% of the trace, the amount of the first two eigenvalues is 83.0%, the amount of the first three eigen values is 93.7%.

Discussion and interpretation of obtained results. To the first three components account 93.7% of the total variance of the "cloud." In this case the first component of the overall size makes sense. It follows from the fact that all components of $\bar{c}_1$ have one sign and approximately identical in size, that is, during the designing on this axis coordinates of the normalized features are added.

These cond component is main ly responsible for the width of the upper jaw(characteristic 3) because the third coordinate of $\bar{c}_2$ with absolute values qualto 0.89(almost 1), and these cond - 0.38. Since the sign soft hese coordinates are different, these symptoms reflect a difference in the proportions of the jaws, and are distinguished from the elongated shape to truncated (hound sand collies from bull dog sand boxers). These condand third features of wolves and German Shepherds are almost identical. The third axis contrasts the size of jaw size of the teeth: the first three coordinates of $\bar{c}_3$ are approximately equal to the sum of the last three unsigned, but opposite in sign. This axis allows to distinguish between animals with developed teeth (wolf, German Shepherds, Dobermans) from dogs of other breeds (St. Bernard's, Setters).

Conclusion

The above method of main components can be used in a variety of problems where appear symmetric matrices. For example, when the initial information about the objects serve as expert information about the differences between them, which expressed in numbers.

REFERENCES

1. Zhambyu M. Hierarchical cluster analysis and compliance. -M.: finance and statistics. 1988
2. Eleuov A. A., Otelbaev A. J., Akzhalova A.Zh., Rysbajuly B. Calculating eigenvalues and eigenvectors of matrices. //Eurasian mathematical journal ENU. L.n. Gumilev and Moscow State University. Lomonosov. Astana, 2005- №1-57-78page.
3. Eleuov A.A. The algorithms of the count of eigenvalues and eigenvectors of matrices. // Vestnik KazNPU named after Abay. The seria of physics, mathematic, computer science. – 2007. – №1(17). –23-28 page.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД**

ВЫПУСК ШЕСТНАДЦАТЫЙ

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

Научное издание

Редактор *С.Е.Аксененко*

Подписано в печать 20.06.2012

Формат 60х84 1/8. Объем 62,25 усл. печ. л.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Тираж 300 экз. Заказ 292

Комитет по теоретической и прикладной механике

Кыргызстана

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

CHICAGO, ILLINOIS

DECEMBER 10, 1954

Dear Mr. [Name]

I have your letter of December 8, 1954.

I am sorry that I cannot give you a more definite answer.

I am sure that you will understand.

I am, very truly, yours,

[Signature]

Enclosed is a check for \$100.00.