



ISSN 1694-6065

**КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА**

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

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ им. М.М. АДЫШЕВА
НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

ВЫПУСК ДВАДЦАТЬ ПЕРВЫЙ

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

**Материалы Международной конференции, посвященной
100-летию юбилею академика М.М. Адышева**

БИШКЕК-2015

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, профессор Исманбаев А.И.
доктор технических наук, профессор Тажибаев К.Т.

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

Редакционная коллегия:

Бийбосунов Б.И. - доктор физико-матем. наук, профессор;
Никольская О.В. - доктор технических наук;
Манжиков Б.Ц. - доктор физико-матем. наук;
Орозобекова А.К. - кандидат физико-матем. наук, доцент.

С 56 Современные проблемы механики сплошных сред: Вып.21:
Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии
/Комитет по теорет. и прикл. механике Кыргызстана, Институт
геомеханики и освоения недр НАН КР.-Б.: 2015. - 166 с.

ISSN 1694-6065

В сборник включены научные статьи, посвященные для изучения проблем гидрогазодинамики, геомеханики массивов горных пород, геотехнологии освоения недр, геоэкологии горнопромышленных регионов и современным аналитическим и численным методам решения краевых задач механики сплошных сред. В научных статьях изложены современные состояния решения задач гидрогазодинамики, рассматриваются вопросы экзогенно-геологических процессов и проблемы вычислительной математики.

Сборник предназначен для научных работников, аспирантов и инженерно-технических специалистов в области геомеханики, геотехнологии и геоэкологии горнопромышленных регионов.

УДК 531
ББК 22.25

© Комитет по теоретической и прикладной механике Кыргызстана и Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, 2015



*Науки о Земле –
основа устойчивого
развития*

АКАДЕМИКУ М.М. АДЫШЕВУ 100 ЛЕТ

К.С.Сакиев, В.В. Киселев

Институт геологии им. М.М. Адышева НАН КР

Вот и промелькнуло столетие со дня рождения удивительного человека, нашего современника, оставившего свое имя Геологическому Институту, в период руководства которым последний удостоился Ордена Трудового Красного Знамени, достиг максимального расцвета в количественном и качественном отношении. Да, пример Института, который в прошлом за короткий срок сумел войти в число флагманов не только Советской, но и мировой геологической науки, в познании горно-складчатых областей, и особенно той ее, большей, неизведанной древней части, с которой были связаны новые перспективные месторождения и проявления стратегического сырья, мог бы пригодиться и сегодня, но вспоминается в связи с ролью, которую в этом процессе сыграл талантливый человек. Произошло это на наших глазах, представителей поколения, пришедшего в Институт в пору его детства, когда его покидали последние (возвращались домой) наставники из эвакуированных в военное время видных специалистов Центральной России. Для нас, первых выпускников ФПИ и КГУ тогда (1956-1957 гг) председательствовавший на защите дипломных проектов Муса Мирзапаязович Адышев - молодой ученый, занимавшийся “закрытой” -секретной и уже потому привлекательной тематикой, представлялся элегантным и очень интеллигентным мэтром, самолично знакомившимся с контингентом выпускников и выбиравшим для себя будущих сотрудников. Ему помогал неизвестный тогда нам, но популярный исследователь Джекказгана В.М. Попов, а также хорошо известный нам, как геолог с энциклопедическими знаниями и практическим опытом, наш преподаватель – В.Г. Королев, получивший хоздоговорные средства на проведение государственной геологической съемки и поиски территории стотысячного листа в Джетым-Тоо. У Института на тот исторический момент кроме нескольких талантливых энтузиастов-руководителей и решения о выделении средств на хозяйственный договор не было

ничего: ни снаряжения, ни лабораторного оборудования, ни помещений, ни штатных исполнителей, а вместо научно-исследовательской работы предлагался по сути производственный процесс, выполнить который по строгим предписаниям методических руководств в суровых условиях высокогорья было очень непросто даже подготовленным профессионалам.

Сегодня, по прошествии 60 лет, нам, сохранившимся в живых участникам прошлых событий, они не кажутся героическими, нам было по 19-20 лет, и мы только начинали каждый свой путь на службе отечеству (иначе никто и думать не мог). Но память индивидуальна и каждый запечатлевает свое, совокупность которого может и дает в итоге оттенки расцветки запавших в памяти событий (картин) прошлого, отражая при этом принятые индивидуальные решения и выход за пределы predetermined жизненных обстоятельств. Так вот для нашей группы, общий путь которой был предначертан волею таких личностей, как М.М. Адышев, оказался исторически оправданным.

Но было бы заблуждением считать нашего юбиляра великим стратегом, оторванным от повседневных жизненных реалий, неукоснительно выполняющим предписания партии и меняющегося чиновного начальства, скорее наоборот.

Примеры его взаимоотношений с равными по авторитету коллегами, такими как В.Г. Королев, С.Д. Туровский, А.А. Конюк, В.Т. Сургай, В.М. Попов, П.Г. Григоренко и их подопечными со сложными судьбами, разными способностями и реализуемыми возможностями говорят о его исключительных тактико-педагогических способностях, которые позволяли ему поддерживать коллектив “в тонусе” и оберегать от ни в меру ретивых командиров. Мягкий и обходительный со всеми в общении, он оставался жестким и непреклонным в осуществлении намеченного к исполнению, используя при этом широчайший арсенал возможностей, зачастую опосредованного, чисто психологического воздействия через окружение. Внимательный и участливый ко всем, он часто удивлял своей осведомленностью о личных текущих проблемах каждого, поэтому когда спрашивал, как отреагирует коллектив на очередное из принимаемых решений, понимал под этим не точку зрения профсоюзного или партийного лидера, а действительно глубинное, истинно справедливое на выхваченный момент и вызревшее в коллективе мнение, прекрасно чувствуя и неукоснительно соблюдая разницу между тем, о чем принято, а о чем порой и неприлично говорить вслух.

В коллективе бытовало мнение об огромных возможностях своего директора, но он предпочитал об этом помалкивать и не сеять обещаниями, хотя каждый

может вспомнить случаи его оперативного вмешательства и быстрой помощи в решении самых разнообразных жизненных коллизий и проблем.

В памяти всех остались примеры “злостного” невыполнения им серии распоряжений сверху о незамедлительном увольнении ссыльного Королева, ну, а если персонально, то это бесчисленное множество случаев содействия в разрешении производственных недоразумений, научных непримиримых споров, а также личных проблем, начиная от жилищных, до бытовых семейных конфликтов и разрешения амбициозных претензий коллег.

Естественно, что у юбиляра был круг более и менее близких ему людей, которые, несмотря на его объективность, нередко пользовались возможностями более частого и тесного общения с таким способным директором.

Он знал это и старался корректно оградиться от иногда навязчивых демонстраций приближенности, вероятно испытывая при этом чувства и неловкость кинозвезд.

Мне вспоминается случай на летном поле Ленинабада, где совершил вынужденную посадку самолет, на котором большая группа сотрудников нашего Института возвращалась с Всесоюзного совещания, прошедшего в Таджикском геологическом Институте Душанбе. Мы продемонстрировали там высокий класс докладов, возвращались в приподнятом настроении и были довольны оказанным нам приемом и даже вынужденной посадкой в Ленинабаде, где незадолго до этого открылся музей с экспонатами, в т.ч. и геологическими, на родине знаменитого потомка Алайской царицы. М.М. Адышев заметил, что здесь, на его родине это обстоятельство до сих пор не утратило своего значения и мы могли бы убедиться в этом, посетив музей и непременно отведав традиционного бешбармака. Ни на шаг не отстававший от него недавно назначенный ученым секретарем Совета по защитах диссертаций В.В. Малыгин, решил заметить, что у него тоже в крови примесь баронской крови, доказательством чего являются воспоминания родственников и галстук. -“Только мы при галстуках, шеф и я”, на что сразу же получил замечание, что дело не в седле, а на ком оно, на скакуне, или корове и инструкцию, как вязать и носить галстук.

М.М. Адышев был популярен не только на Юге. В Институт с Нарынских сыртов зачастили доброхоты-помощники, прознавшие, что его ребята собирают окаменевшие организмы. Однажды в приемную двое ребят ввели почтенного аксакала и внесли привезенную им поклажу -2 мешка крупных, собранных в осыпи и потому очищенных от вмещающей известняковой массы криноидей. Директор

принял его незамедлительно и, как дорогого гостя, велел Уч. Секретарю и бухгалтеру изыскать деньги для расплаты за привезенное сокровище.

10 напряженных лет, потребовавшихся для самостоятельного становления на собственные ноги, для Института, конечно, срок рекордный, но и поставленная цель была не простой, а, прежде всего, политической. Сейчас в памяти всплывают детали эпопеи спасения Иссык-Куля с переброской вод Сарыджаза, в которой участвовали крупнейшие проектные организации Союза с гигантскими ассигнованиями. Подключиться к этой работе означало получение очень приличных средств не только для тематики академической науки, но Республики в целом.

И вот, на организованной в Институте конференции, посвященной проблемам Иссык-Куля, от него выступает группа молодых ученых лаборатории новейшей тектоники (зав. О.К. Чедия) со свежими потрясающими данными, блестяще доложенными Алексеем Трофимовым.

Общий их смысл сводился к тому, что изменения уровня воды в озере являются естественным и ритмично повторяющимся процессом, изменить который никому не удастся, то есть спасать Иссык-Куль нет необходимости, а сумасшедших размеров затраты могут расцениваться как ненужные и даже преступные. О последнем он с трибуны не говорил, но живо обсуждал с участниками в кулуарах.

Ясно, что цель конференции была иной и М.М. Адышев срочно предпринимает меры, чтобы исправить возникшую неловкую ситуацию.

Были организованы не очень убедительные выступления против главных положений Алексея, а меня он попросил, как его закадычного друга, постараться объяснить ему, что все мы рады его действительно успешной работе, несомненно оцениваем его патриотический порыв, но рекомендуем не мочиться против ветра. Тем более, что в конечном итоге неизвестно, какая из решаемых задач крупнее и важнее, прежде всего для нас, ведь не считает же он свою работу бесцельной и бесполезной, хотя и проведенной за те же народные деньги.

Следуя призывам типа Наука в Производство и что главное внимание должно уделяться Полезным Ископаемым, наш юбиляр прекрасно сознавал, что грамотные металлогенические прогнозы невозможны без качественной стратиграфо-тектонической основы и поддерживал лаборатории регионального стратиграфо-тектонического направления, уделяя этим разделам геологии первостепенное внимание, в том числе и в своих собственных исследованиях.

Известные о нем анекдотичные случаи требования от палеонтологов спектральных анализов раковин, думаю обязаны возникавшей временами необходимости

предупреждения у стратиграфической элиты –палеонтологов, зазнайства и уважительного отношения ко всем направлениям геологических исследований.

Несомненные симпатии он испытывал к сложной современной измерительной технике, электронным физическим приборам, химии, полагая, что за ними будущее геологической науки.

Его лаборатория тоже носила название ядерной и он очень много сделал для оснащения ее и физико-химических подразделений Института современными приборами и оборудованием.

Вовсе не “технар” по образованию, будучи членом бюро отделения, Президиума АН, а затем Президентом, в отличие от своих помощников-инженеров, он хорошо разбирался в особенностях современной техники, зная, что жидким азотом не запасешься впрок, а вакуум не получишь в Академснабе.

Память о человеке, судьба которого неразрывно связана с профессией геолога, услужливо подбрасывает все новые и новые детали его сложного восприятия не только окружающих людей, дела, которому посвятил себя, но и физического мира, окружающей природы. В тесном контакте с ней он проводил больше времени, чем прочие горожане и возможно поэтому воспринимал ее как часть самого себя, а вернее себя ее частью, искренне любил и желал этому сплаву необходимых, и вполне осуществимых улучшений и совершенствования.

Пытаться раскрыть все это по фрагментам воспоминаний одного или даже нескольких современников невозможно, тем более, что человек этот не простой, а отмеченный государством представитель страны и народа, причем в период истории, чрезвычайно насыщенной драматическими политическими событиями и прошедший в непрерывной борьбе народа за свободу, независимость, экономическую и политическую состоятельность, повышение уровня жизни, культуры, рациональности использования для этого природных ресурсов, преодоление не вяжущихся с достижениями мировой цивилизации, веками удерживающихся национальных традиций, значит браться за многотомный труд, который в любом варианте окажется политически не однозначным.

Зная М.М. Адышева, сегодня можно утверждать, что это выдающийся представитель своего народа, достойный герой для создания оптимистичной и необходимой сегодня поучительной саги о стране с огромными природными ресурсами, возможностями и непреодолимым желанием людей исправить сложившуюся историческую несправедливость. Многое из его опыта может и должно быть использовано сейчас.

УДК 624,131:577,4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО –АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЭКСПРЕСС-ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ НА ОПОЛЗНЯХ

Ю.Г. Алешин, И.А. Торгоев

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Общие положения. Обработка и инженерно-геологическая интерпретация геофизических данных, полученных на геофизических профилях, осуществляется путём последовательного, стадийного решения следующих задач:

-формирование априорной физико-геологической модели разреза (ФГМА) на основании общего геологического изучения горного склона или региона (инженерно-геологические изыскания для строительства, гидрогеологическая съемка, разведка полезных ископаемых и др.);

-обучение системы интерпретации на опорных участках комплексных исследований (прямая задача геофизики);

-формирование апостериорной физико-геологической модели разреза (обратная задача геофизики).

Экспресс-интерпретация проводится сразу после получения геофизических данных на профиле до завершения изысканий на оползневом склоне, что обеспечивает возможность получения дополнительных данных, уточняющих или подтверждающих достоверность инженерно-геологического разреза на наиболее сложных его участках. Основным результатом экспресс-интерпретации является формирование инженерно-геологического разреза

оползневого склона вдоль изученного геолого-геофизического профиля, представляющего исходную информацию для расчета показателей оползневой опасности:

- геолого-литологический состав пород с указанием границ слоёв и крупных включений, в том числе смещенных скальных блоков, углов падения границ;

- состояние консистенции глинистых разностей грунтов;

- уровень грунтовых вод;

- важнейшие физико-механические свойства литологических разностей – плотность, сцепление, угол внутреннего трения;

- сейсмическая балльность участка горного склона;

- состояние трещиноватости грунтов дневной поверхности;

Формирование априорной физико-геологической модели разреза.

Априорная физико-геологическая модель (ФГМа) разреза должна быть избавлена от излишней детализации, в обобщенном виде представлять информацию о геологической структуре горного массива на изучаемом горном склоне, взаимоположении различных литотипов грунтов и возможном диапазоне геофизических и физико-механических свойств грунтов, что позволяет оптимизировать геолого-геофизические комплексы, применяемые для изучения склона, и основные методические приёмы, определяющие детальность и глубинность исследования. Для оползневых склонов юго-западного Тянь-Шаня (ЮЗТ) следует выбирать одну или две-три ФГМа из следующего их перечня (рис.1).

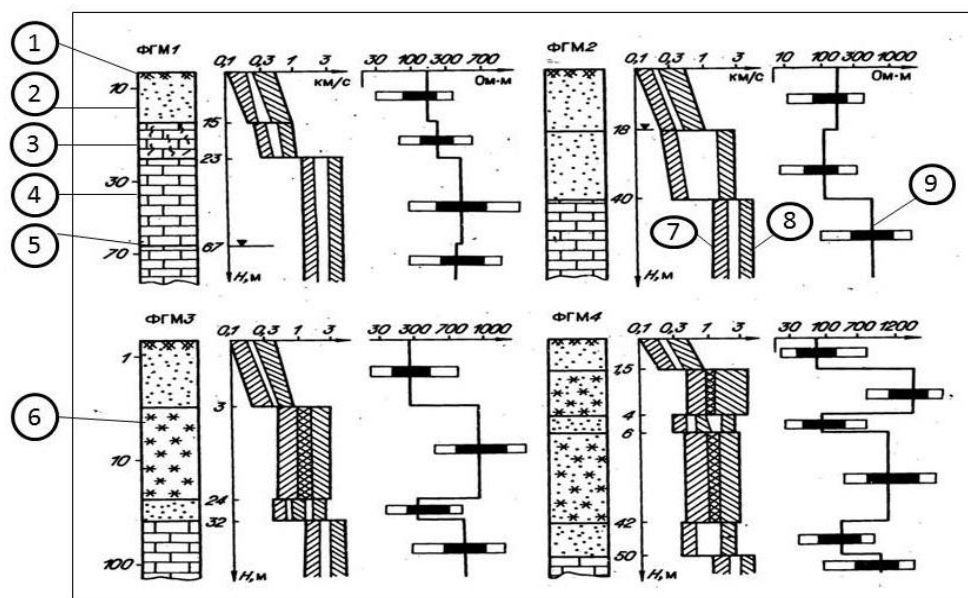


Рис.1. Физико-геологические модели верхней части разреза
оползнеопасных склонов ЮЗТ
(по В.Г.Вакромееву и др. [1] с изменениями).

1 – почвенно-растительный слой; 2 - рыхлые отложения; 3 – кора выветривания и зона разуплотнения коренных пород; 4- коренные породы; 5 – уровень грунтовых вод; 6-смещенные коренные породы; 7, 8 - графики изменения скоростей поперечных (7) и продольных (8) волн; 9 - графики и диапазон изменений на уровне двух стандартов удельного электрического сопротивления.

Первый тип ФГМа- трех-четырёхслойная среда- характерен для водораздельных частей оползне опасных склонов южной экспозиции. Модель соответствует делювиальным отложениям небольшой мощности, залегающим на дезинтегрированных породах юры, мела и палеогена, либо на корах выветривания этих пород. Для этой модели характерны трещинно-грунтовые и трещинно-карстовые воды зоны выветривания; глубина их залегания в основном определяется дренирующим влиянием ручьев и малых рек основного речного бассейна, интенсивностью пополнения ресурсов преимущественно за счет снегового питания ранней весной. Консистенция глинистых грунтов четвертичного чехла- твердая и полутвердая, величина сцепления C от

0,03 до 0,1 МПа, угла внутреннего трения φ от 27 до 33 град, плотность $\Delta \rho$ от 1,38 до 1,65 т/м³.

Закономерности изменения скоростей упругих колебаний и удельных электрических сопротивлений, которые в общем случае увеличиваются с глубиной, определяются литологическим составом, состоянием пород и их влажностью. Разрез рыхлых и глинистых пород геофизически слабо дифференцирован вследствие близких и перекрывающихся в широких пределах значений сопротивлений и скоростей продольных и поперечных волн, характеризующих различные литологические разности. Скачок скоростей и величин УЭС наблюдается при переходе границы покровных отложений и коренных пород (однонаправленно в сторону увеличения), а также при пересечении границы водоносного слоя (разнонаправленно – увеличение скорости v_p и снижение УЭС).

Второй тип ФГМа- трехслойная среда- аппроксимирует инженерно-геологические разрезы в нижних и средних частях склонов и приурочены либо к речным террасам второго и третьего ярусов, либо к мощным отложениям разновозрастных суглинков (бассейны рек Кугарт, Чангет). Уровень грунтовых вод залегает на глубине от 3 до 25 м, водоупором служит кровля либо более древних плотных суглинков, глин с включением гальки, гравия и щебня, либо заглинизированных коренных пород. На литологических границах геофизические параметры изменяются скачком, при этом хорошо выделяется прослой обводненных пород пластичной и текучепластичной консистенции по чрезвычайно низкой величине УЭС ($\rho < 30$ Ом·м) и высокой скорости продольных волн ($v_p > 1300$ м/с).

Третий тип ФГМа- четырехслойная среда- распространен на оползневых склонах со смещенными блоками коренных пород в нижних частях склонов. Для моделей такого типа характерны инверсия физических свойств в нижнем рыхлом слое, по которому произошло

смещение скальных блоков. Этот слой обычно водонасыщен, грунт находится в текучепластичном состоянии. В верхней части разреза песчано-глинистые грунты разбиты системами трещин, физико-механические и геофизические характеристики не выдержаны. Вариация скоростей продольных волн и удельных электрических сопротивлений может достичь 100% и более.

Четвертый тип ФГМа- четырех-шести слойная среда- характерен для участков тектонических нарушений и древнеоползневых склонов, где нарушена типичная для региона слоистая структура горного массива, в мелкоземистую грунтовую массу глинистых пород, впаены обломки, глыбы и пакеты скальных пород. Кровля коренных пород как правило не выдержана. Пространственная разобщенность отдельных слоёв обуславливает множественную инверсию скоростных и электрических свойств пород по вертикали. Горизонт грунтовых вод также не выдержан, на отдельных участках эти воды имеют слабый напорный характер.

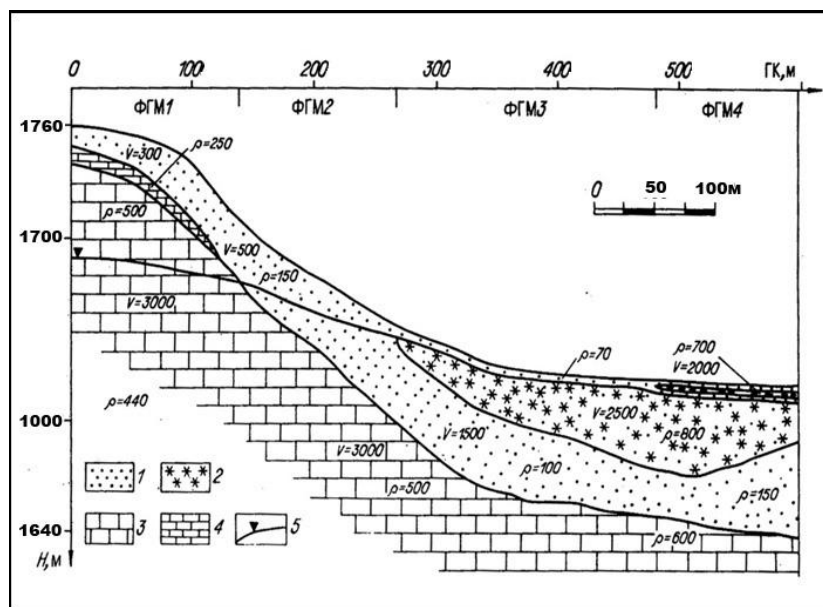


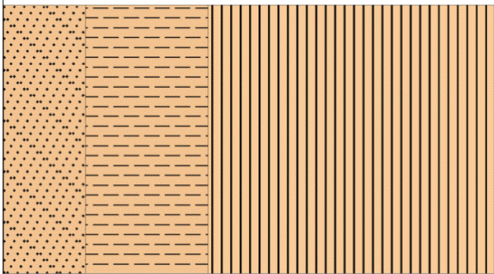
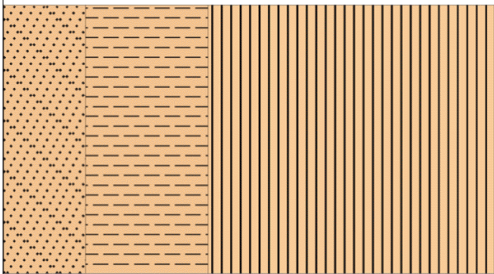
Рис. 2. Модельный геолого-геофизический разрез оползнеопасного склона (по В.Г.Вакромееву и др. [1] с изменениями).

1 - рыхлые отложения; 2 – смещенные коренные породы; 3 - коренные породы; 4 - кора выветривания; 5 - уровень грунтовых вод.

По указанным выше типичным для ЮЗТ ФГМа на рис.2. представлен сводный априорный модельный разрез оползневого горного склона. Этот модельный разрез является исходным для уточнения в процессе интерпретации геофизических разрезов, полученных по результатам изысканий на изучаемом склоне.

Обучение системы интерпретации на опорных участках комплексных исследований. На опорных участках осуществляется проходка горных выработок (буровых скважин, шурфов, канав, расчисток стенок и обнажений и др.) с отбором, испытанием образцов горных пород и получением структурно-литологической характеристики, состояния и свойств пород, залегающих в ближайшей окрестности выработки. Вслед за проходкой горной выработки производится геофизическое опробывание горного массива одним или несколькими методами: электро-ультразвукового каротажа по стенке выработки, вертикального сейсмического просвечивания (ВСП), КМПВ (РВ) и ВЭЗ на коротких взаимно ортогональных профилях с центром в устье выработки. При этом получают геофизические разрезы на глубину не менее глубины проходки выработки.

Обучение решению задачи геолого-литологического расчленения горного массива производится путём сопоставления геолого-литологической колонки по геологическому описанию выработки и геофизического разреза, построенного на основании априорных ФГМа как это показано на рис.3. При этом производится корректировка модели ФГМа на интервалах (глубинах) несоответствия, а также корректировка алгоритма распознавание литотипа грунта. Например,

Интервал опро- бывания	По данным буровых работ	По данным лабораторных испытаний				Геофизические данные			По данным сети PNN № 19	
			w, %	J _L , отн.ед.		ρ, Ом·м	V _p , м/сек	K, отн. ед.		
0 — 0,6	ПРС, <u>Sug W0</u>	<u>Sug W0</u>	5	меньше 0			260	250	0.51	<u>Psk W0</u>
	ПРС, <u>Sug W0</u>	<u>Sug W0</u>	9				200	300	0.53	<u>Psk W0</u>
0,6 — 5,5	<u>Sug W0</u>	<u>Sug W0</u>	19	меньше 0			150	350	0.54	<u>Sup W0</u>
	<u>Sug W0</u>	<u>Sug W0</u>					100	300	0.46	<u>Sup W0</u>
5,5 — 6,2	<u>Sug W0</u>	<u>Sug T W0</u>	19	меньше 0			50	400	0.45	<u>Sup W0</u>
	<u>Sug W0</u>	<u>Sug T W0</u>					40	400	0.3	<u>Gln W0</u>
	<u>Sug W0</u>	<u>Sug T W0</u>					50	460	0.25	<u>Gln W0</u>
	<u>Sug W0</u>	<u>Sug T W0</u>					40	500	0.2	<u>Gln W0</u>
6,2 — 11,0	<u>Sug W0</u>	<u>Sug T W0</u>	20	меньше 0			30	600	0.2	<u>Gln W0</u>
	<u>Sug W0</u>	<u>Sug T W0</u>					15	800	0.2	<u>Gln W0</u>
11,0 — 13,0	<u>Sug W0</u>	<u>Sug T W0</u>	19	≈ 0	20	700	0.23	<u>Gln W0</u>		
	<u>Sug W0</u>	<u>Sug T W0</u>			8	1300	0.18	<u>Gln W0</u>		
13,0 — 14,0	<u>Sug W0+Sup W1</u>	<u>Sug T W0</u>	19	≈ 0						<u>Gln W0</u>
14,0 — 15,7	<u>Sug W0+</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>	<u>Sug W0 +</u> <u>Sup W1</u>	22	0.28			6	1200	0.15	<u>Gln W0</u>
	<u>Sug W0 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>		22	0.25			4	1300	0.15	<u>Gln W0</u>
15,7 — 20,0	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1</u>	24	0.33			3	1300	0.15	<u>Gln W0</u>
	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>		2	1400			0.15	<u>Sup W1</u>		
20,0 — 23,4	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1</u>	25	0.5			1,8	1500	0.12	<u>Sug W1</u>
	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>						2	1400	0.15	<u>Sup W1</u>
	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>						2	1500	0.13	<u>Sup W1</u>
	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>						3	1600	0.12	<u>Sup W1</u>
23,4 — 30,0	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>	25	0.5			4	1550	0.11	<u>Sup W1</u>
	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>						5	1600	0.12	<u>Sup W1</u>
	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>				6	1550	0.13	<u>Sup W1</u>		
	<u>Sug W1 +</u> <u>Sup W1 +</u> <u>Psk Mz W1</u>				7	2000	0.07	<u>Gln W1</u>		
30,0 — 50,0	—	—	—	—						<u>Gln W1</u>

Примечание: Sup-супесь, Sug-суглинок, Psk-песок, Gln-глина, Wo- зона аэрации, Wl-обводнение

Рис. 3. Соответствие данных геофизического опробования массива и результатов опорного бурения

если прогноз литологического состава песчано-глинистых грунтов осуществляется с использованием треугольника Ферре, то изменяют координатные масштабы геофизических показателей (рис.4.) для получения апостериорного алгоритма распознавания, адекватно отражающего свойства конкретного участка или территории.

Обводненные горизонты песчано-глинистых грунтов распознаются довольно надежно по скоростному критерию: $1300 \leq v_p \leq 2000$ м/с, и одновременно $v_s/v_p \leq 0,15$. Практически однозначное решение об обводнённости песчано-глинистых грунтов принимаема при условии $v_s/v_p \leq 0,1$.

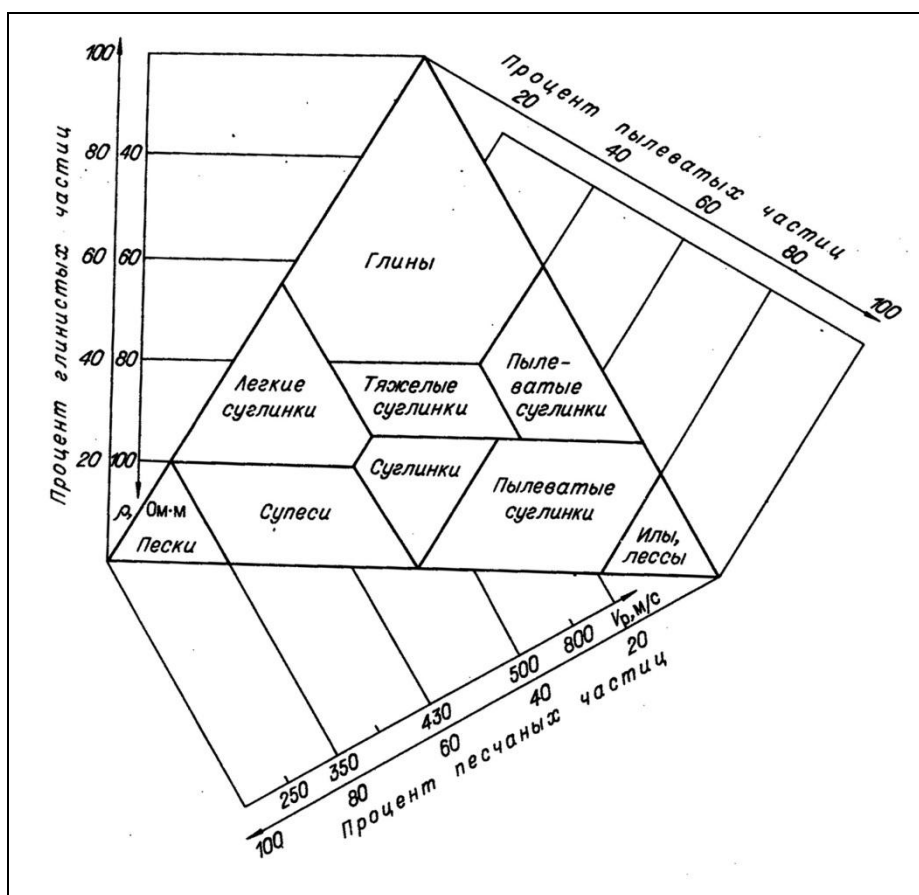


Рис. 4. Номограмма определения литологического состава пород песчано-глинистого слоя по геофизическим данным (по Г.С.Вахромееву и др. [1])

Оценка физико-механических характеристик литологических разностей грунтов производится путем прямого сопоставления с каждой

разностью оценок, полученных при испытаниях образцов. При этом производится усреднение данных, выделение интервалов глубин, характеризующихся определенной величиной и вариацией свойства. Тем самым осуществляется подразделение каждой литологической разности на инженерно-геологические элементы (ИГЭ). Граничное значение x_r свойства x определяется соотношением:

$$x_r = \overline{x_{k1}} - K\sigma_1 = \overline{x_{k2}} + K\sigma_2, \quad (1)$$

где: $\overline{x_{k1}}$ и $\overline{x_{k2}}$ - средние значения свойства x двух подлежащих разделению ИГЭ;

σ_1 и σ_2 - среднеквадратичные отклонения этих величин;

$K = \frac{\overline{x_{k1}} - \overline{x_{k2}}}{\sigma_1 + \sigma_2} \geq 1,3$ - условия разделения литологической разности на два ИГЭ.

Прямая оценка любой физико-механической характеристики осуществляется на основе использования и корректировки априорных регрессионных зависимостей. При этом процедура корректировки заключается в уточнение коэффициентов и параметров взаимосвязей с сохранением общей тенденции этой связи (линейная, нелинейная корреляционная связь, экспоненциальная, полиномиальная и др. линии тренда). Ниже на конкретном примере показана реализация этой процедуры: на рис.5. представлено описание буровой колонки, а на рис.6. и 7. геофизические разрезы пород на опорном участке.

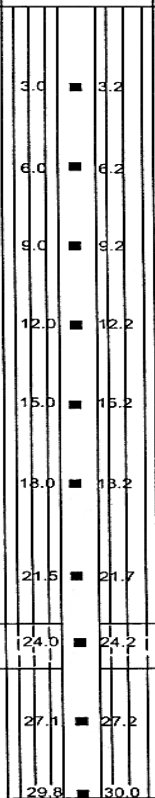
Способ проходки: колонковое бурение диаметром 129мм						Скважина №1 (на пересечении профиля II-II x III-III) ВЭЗ Н = 690 φ 41°58'07,6" λ 73°35'12,7"				
Масштаб: 1:200										
Номер слоя	Геологический индекс	Глубина залегания, м		Мощность слоя, м	Литологический разрез	Описание пород	Уровень подземных вод, м		Группа ручной разработки по СНиП IV-5-82	
		от	до				Появив. дата	Устан. дата		
	раQIII-IV					1. Суглинок лессовидный коричневого цвета, твердый, высокопористый, просадочный, с включением отдельных, мелких конкреций (глиняных) <5%, с глубины 6,0м с тонкими прожилками карбонатов (около 1 мм). Ниже 11,3 м суглинок полутвердый, с глубины 12,7м тугопластичный, низкопористый, непросадочный, в интервале 13,3-14,1м с прослойками и линзочками песка мелкого и средней крупности влажного. С глубины 14,1м -суглинок по консистенции ближе к мягкопластичному, низкопористый, непросадочный. В интервале 15,7-20,0м суглинок мягкопластичный, серовато-коричневый, с тонкими прослойками и линзами песка (<1.5см) пылеватого, водонасыщенного. 2. Супесь лессовидная коричневатая-серая, пластичная, низкопористая, непросадочная, с тонкими прослойками и линзами (длиной 3 см) песка пылеватого , серого, водонасыщенного. 3. Суглинок лессовидный светло-коричневый, мягкопластичный, низкопористый, непросадочный, с тонкими прослойками и линзами (до 3 см) песка различной крупности.	УПВ не вскрыт	25.05.2007	II I II	
1		0.0	23.4	23.4						
2		23.4	25.1	1.7						
3		25.1	30.0	4.9						

Рис.5. Описание буровой колонки скважины №1 на опорном участке

В табл.1 приведены данные, полученные на одном из опорных участков. Физико-механические характеристики определялись двумя

Таблица 1.Оценки физико-механических свойств грунтов опорного участка, полученные двумя методами

Глубина h , м	Геотехнические испытания			Данные сейсмо- развед ки		Оценки свойств			Расхождение оценок, %			Примечание
	Δ т/м ³	C , МПа	φ , град	v_p км/с	v_p/v_s	Δ^* т/м ³	C^* , МПа	φ^* , град	δ_Δ	δ_c	δ_φ	Суглинок твердый
0,3±0,3	1,32	-	-	0,3±0,05	1,85	1,42	0,09	30	7,5	-	-	То же
3,1±0,1	1,75	0,03	22	0,35±0,05	2,22	1,46	0,07	27	-16,5	133	22,7	-----
6,1±0,1	1,81	0,07	24	0,4±0,06	4	1,49	0,037	13,5	-17,7	-47,1	-43,7	Суглинок тугопластичный
9,1±0,1	1,91	0,05	23	0,5±0,1	5	1,56	0,03	10	-18,3	-40,0	-56,5	Суглнокмягкопла стичный
12,1±0,1	1,97	0,03	25	0,8±0,1	5	1,71	0,03	10	-13,2	0	-60,0	То же с линзами мелкого песка
15,1±0,1	2,05	0,03	29	1,2±0,1	5,5	1,84	0,028	9	-10,2	-6,7	-69,0	
				Среднее					-11,4	7,84	-41,3	
				Среднеквадратичное отклонении					9,75	7,30	36,91	

Таблица 2. Оценка параметров уравнений регрессии по данным, полученным на оползневом участке

Глубина h , м	Геотехнические испытания			Данные сейсморазведки		Расхождение оценок, %			Параметры уравнения регрессии					
	Δ т/м ³	C , МПа	φ , град	v_p км/с	v_p/v_s	δ'_Δ	δ'_c	δ'_φ	a_Δ	b_Δ	a_c	b_c	a_φ	b_φ
0,3±0,3	1,32	-	-	0,3±0,05	1,85	-13,6	-							
3,1±0,1	1,75	0,03	22	0,35±0,05	2,22	8,5	-	10,6			0,234	-1,128		
6,1±0,1	1,81	0,07	24	0,4±0,06	4	-13,0	-28,5	3,7	2,039	0,233			15,81	0,274
9,1±0,1	1,91	0,05	23	0,5±0,1	5	9,47	-23,8	6,8						
12,1±0,1	1,97	0,03	25	0,8±0,1	5	2,03	0,8	-1,7						
15,1±0,1	2,05	0,03	29	1,2±0,1	5,5	-2,48	14,06	-13,05						
7,0	1,71	0,044	17,5	0,6	3,5	-5,9	29,5	27,30						
		Среднее				-2,14	-1,59	0,84						
		Среднеквадратичное отклонение				-9,4	24,67	14,74						

методами: путём испытания монолитов грунтов, поднятых из буровой скважины кернового бурения, и путем расчета по априорным корреляционным зависимостям с использованием результатов сейсмондирования (СЗ).

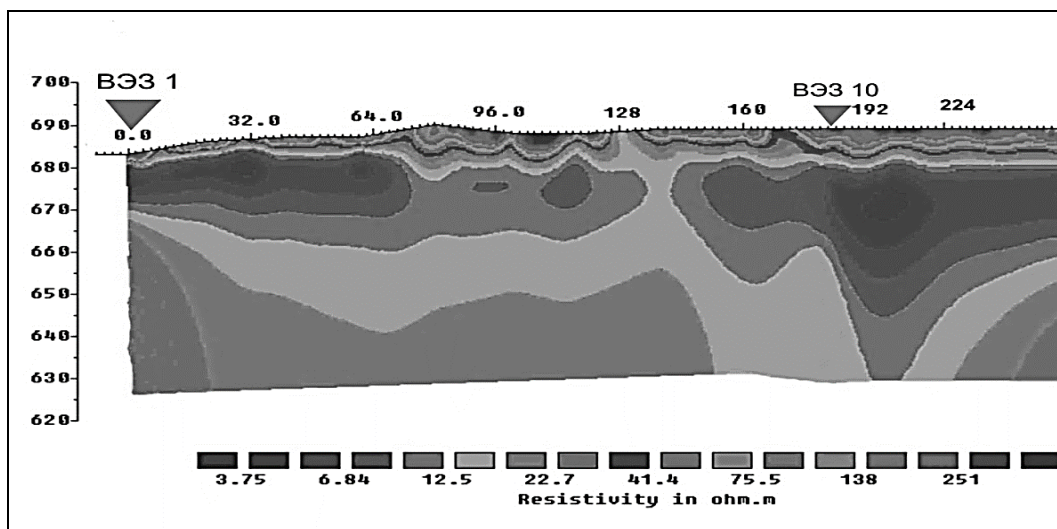


Рис.6. Геоэлектротомограмма горного массива профиля ВЭЗ на опорном участке

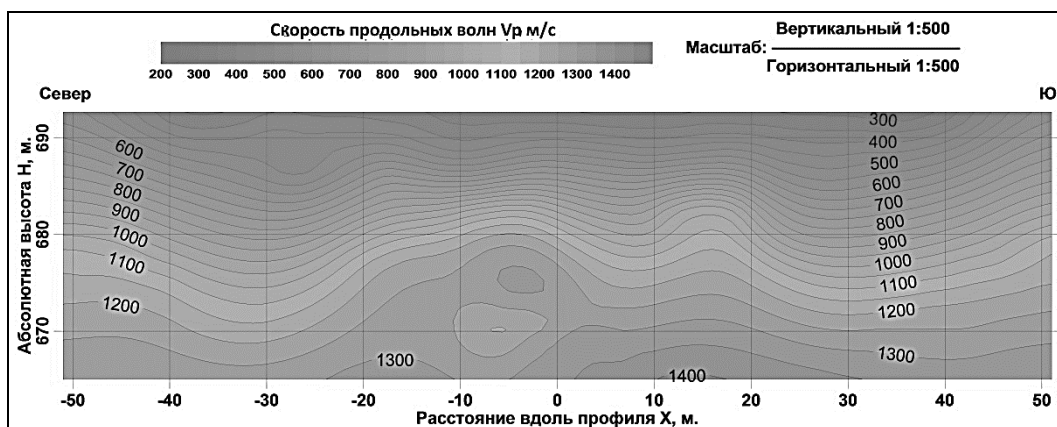


Рис.7. Сейсмотомограмма горного массива на опорном участке

Как видно из таблицы 1. применение априорных корреляционных уравнений приводит к недопустимо большим расхождениям оценка физико-механических свойств грунтов по данным сейсморазведки и прямых испытаний образцов совершенно неприемлемо наличие значительной систематической составляющей такого расхождения. Возникает необходимость корректировки решающего правила.

Корректировку решающего правила проводим на полученном выше экспериментальном материале путем регрессионного анализа

данных сейсморазведки и прямых геотехнологических испытаниях свойств грунтов. Уравнение регрессии ищем в виде степенной зависимости.

$y = ax^b$; (2), где: $y \equiv \Delta, C, \varphi$; $x \equiv v_p, v_p/v_s$ при этом вычисляют отклонения фактических данных от прогнозируемых по (2.). Соответствующие данные приведены в таблице 2. Откорректированное решающее правило позволяет дать оценку физико-механическим свойствам грунтов с несколько меньшим расхождением данных геотехнических и геофизических испытаний. При этом мы забраковали в ряду данных геотехнических оценок сцепления породы значение $C=0,03$ МПа на глубине $h=3,1$ м как явно ошибочное и связанное с наличием включений мелкой гальки в испытываемом образце грунта.

Для подтверждения достоверности оценок физико-механических свойств по геофизическим данным на основании откорректированных решающих правил вблизи геофизических профилей из обнажений на разной глубине были отобраны монолиты и проведены геотехнические испытания образцов грунта. Таким образом была получена контрольная выборка. Применяя откорректированное решающее правило (2) к участкам отбора монолитов, можно получить оценки этих же физико-механических свойств и расхождение с данными геотехнических испытаний. Средние и среднеквадратичные отклонения в контрольной выборке не должны значительно отличаться от таких же данных обучающей выборки. В противном случае принимается решение о том, что контрольный участок представлен ИГЭ иного типа, нежели участок обучения и данные, полученные при испытаниях грунтов в его пределах, не могут быть объединены в одну совокупность и описаны одной закономерностью.

В случае однородности двух выборок производится их объединение в одну и окончательная корректировка решающего

правила. В данном примере получены окончательно решающие правила в следующем виде:

$$\Delta = 1,9518 \cdot v_p^{0,1842}, \text{ Т/м}^3 \text{ при } R^2 = 0,6818, \delta = \pm 6,5\%, v_p \text{ в км/с, (3)}$$

$$C = 0,7612 \cdot (v_p/v_s)^{-2,076}, \text{ МПа при } R^2 = 0,732, \delta = \pm 37,0\%, (4)$$

$$\varphi = \begin{cases} 35,553(v_p/v_s)^{-0,288}, \text{ град при } R^2 = 0,582, \delta = \pm 9,0\%, \text{ для суглинков,} \\ 15,81(v_p/v_s)^{0,2739}, \text{ град при } R^2 = 0,3053, \delta = \pm 13,44\%, \text{ для суглинков} \\ \text{с линзами тонкого песка,} \end{cases} (5)$$

где: R^2 - коэффициент детерминации; δ - относительное среднеквадратичное расхождение с данными геотехнических испытаний.

Решение обратной задачи геофизики. Кровля коренных пород однозначно идентифицируется при $v_p \geq 2500 \text{ м/с}$ (рыхлая кора выветривания), $v_p \geq 3000 \text{ м/с}$ (верхнемеловые песчаники, алевролиты, конгломераты юры и мела, палеозойские сланцы), $v_p \geq 4000 \text{ м/с}$ (известняки палеогена и карбона, изверженные породы); во всех случаях $v_p/v_s = 1,67 \dots 2,0$, а при обводнении пород $v_p/v_s = 2,0 \dots 2,5$.

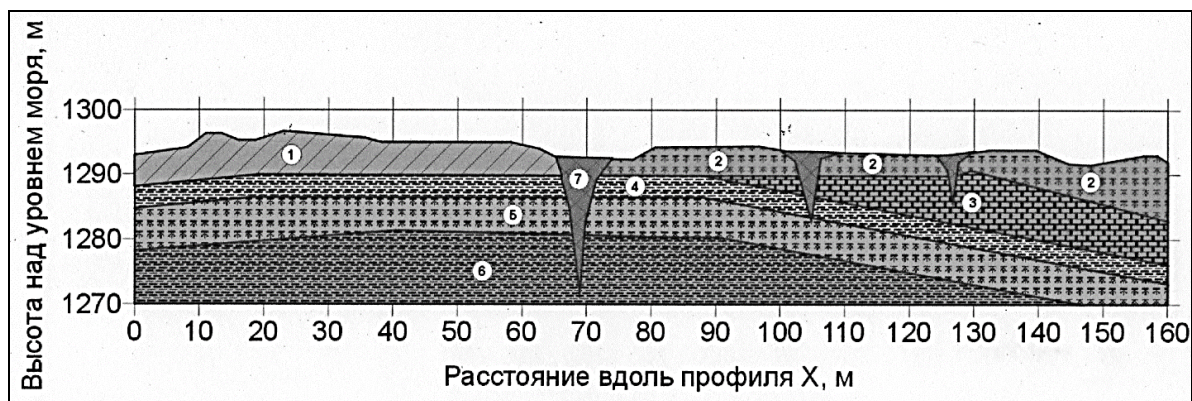


Рис.8. Поперечный геологический разрез второй оползневой террасы

Условные обозначения: 1 - суглинок лессовидный, смещенный; 2 - делясивные отложения; 3 - песчаник, верхнемеловая свита; 4 - алевролит, верхнемеловая свита; 5 - рыхлая полосчатая свита верхнемеловых алевролитов и песчаников; 6 - алевролит плотный; 7 - эрозионные врезы, заполненные обвальным - оползневой массой

Линия предполагаемого скольжения покровного чехла идентифицируется на комплексном геофизическом разрезе по следующим показателям грунтов: скорость продольных волн $1400 \leq v_p \leq 2100 \text{ м/с}$, отношение скорости $v_p/v_s > 4,5$, удельное электрическое сопротивление $\rho \leq 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при минерализации грунтовых вод $\mu < 0,1 \text{ г/л}$ и $\rho \leq 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при $0,1 < \mu < 1,0 \text{ г/л}$.

Детальное геолого-литологическое расчленения горного массива в разрезе вдоль геофизического профиля осуществляется с использованием нейросетевой компьютерной технологии по методике, предложенной в ряде наших работ, например[2,3].

Графическое представление инженерно-геологического разреза осуществляется в программе Surfer при оптимальном выборе параметров пространственной фильтрации. Пример такого представления показан на рис.8, к которому должна прилагаться таблица физико-механических свойств пород геолого-литологических слоёв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физико-геологическое моделирование верхней части разреза зазор/Вахромеев Г.С, Павлов О.В., Джурик В.И., Дмитриев А.Г.- Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1989. 129с.
2. Алёшин Ю.Г. Нейросетевой синтез оптимальных геофизических комплексов в гидрологии // Геология и охрана недр, 3(32), 2009-с. 60-66.
3. Алёшин Ю.Г. Нейросетевая технология акустической дефектоскопии горных пород // Научно-технологическое обеспечение горного производства. Труды ИГД им. Д.А. Кунаева, т. 78, 2009-с. 20-27.

УДК 332.36

**АГРОТЕХНИКА ВЫРАЩИВАНИЯ ПРОТИВОЭРРОЗИОННЫХ
ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР В УРОЧИЩЕ ОЛОКЕ-КОЛОТ**

А.Текенов , З.Асилова, И.Исмаилов, Д.Канетова

Сотрудники Института энергоресурсов и геоэкологии ЮО НАН КР

Проблема охраны и улучшения окружающей среды является важнейшей проблемой века, так как она жизненно связана с настоящим и будущим человека. Эта проблема находится в центре внимания всего мира. На современном этапе тревогу и озабоченность стали вызывать явления загрязнения, отравления окружающей среды, хищническое и неравномерное природопользование, истощение природных ресурсов, нарушение экологического равновесия, развитие отрицательных стихийно-разрушительных природных явлений и др.

Среди таких выше перечисленных природоохранных проблем современности наиболее актуальны такие явления, как обвально-оползневые, селевые и другие склоновые процессы. Все указанные стихийно-разрушительные природные явления называются природными бедствиями или катастрофами не только ввиду их интенсивности, а прежде всего из-за большого материального, экономического, особенно социального ущерба, которые они наносят хозяйству человека. Ещё более, опасность человеческих жертв и, главное, тревога за судьбу будущих поколений с одной стороны, а деградации лесных массивов, эрозии почвенного покрова, оврагообразования, разрушению земельных угодий, ухудшению и

потерям природно-рекреационных качеств ландшафтного и нарушению охранного режима уникальных природных объектов.

В целях предотвращения разрушения земель проводят агротехнические мероприятия, в которых необходимо учесть рациональность.

Рациональное использование занятой культурами земли не только густой схемой посадки растений, но и проведение своевременного ухода за ними с учетом биологических особенностей, важную роль при этом приобретают агротехнические мероприятия, направленные на накопление и сохранение влаги, пополнение запасов питательных веществ в почве и защиты ее от эрозии. Основным видом ухода за лесными культурами является: обработка почвы, внесение удобрения и уход за надземной частью растений[2].

Большое разнообразие экологических факторов в предгорьях обуславливает применение различных способов освоения склонов, освоения при выращивании различных деревьев. Однако они должны быть направлены на решение следующих задач: *способствовать защите почвы от эрозии, эффективному ведению хозяйств в предгорьях, обеспечить рациональность земли и максимальную защиту от оползней.*

После проведения подготовительных работ приступают к обработке почвы. Пред- посадочная подготовка почвы выполняется с учетом рельефа местности с целью предотвращения эрозии почвы, а также максимального накопления почвенной влаги. Все это способствует улучшению роста и развитию растений, а также повышению их плодоношения.

Обработка почвы направлена на максимальное накопление и сохранение влаги. Это достигается содержанием почвы в рядах и между рядами культур в рыхлом и чистом от сорняков состоянии.

Первое неглубокое рыхление почвы производится сразу после посадки культур. При этом делают отправку саженцев.

Сроки проведения ухода зависит от условий местопроизрастания, способа создания и размещения культур. Сроки и краткости обработки почвы устанавливаются в каждом конкретном случае в зависимости от состояния. В период создания лесных культур предлагается произвести 14 кратный уход за посадками в течение 8 лет. Первый год — 4 ухода, второй год 3-ухода, третий год 2-ухода и с четвертого по восьмой год по одному уходу.

Первое рыхление почвы проводят, как только почва будет готова к обработке и направлено оно на закрытие влаги, то есть на предотвращение испарения влаги. Наибольшее количество прополок и неглубокие рыхления почвы производятся в первой половине вегетационного периода, когда более влажная почва и интенсивно растут сорняки.

Уход за надземной частью заключается в их формировании и обрезке ветвей, которые призваны управлять жизнеспособностью плодового дерева[1].

Формирование и обрезка, культур в первый год должна быть направлена на укоренение, и следовательно приживания растения. Это необходимо, потому что во время пересадки саженцев из питомника повреждается около трех четверти корней, а оставшиеся не в состоянии обеспечить питанием уже разросшуюся крону. Поэтому нарушенные несоответствием между корневой системой и надземной частью растений выравнивают сильным укорачиванием ветвей. При этом оставляют главный побег и 4-скелетных ветвей, равномерно расположенных вокруг него. Укорачивание боковых ветвей производится в направленную в обратную от крона сторону[2].

На второй год после посадки саженцев подправляют крону так, чтобы она получила основу из четырех скелетных ветвей, равномерно

расположенных на высоте 80-100см,с ведущим главным побегом, соблюдая принцип равновесия всех ветвей в кроне. Это достигается тем, что в скелетных ветвях вырезают все побеги направленные внутрь кроны, побег-конкурент вырезают на кольцо.

После прореживания кроны укорачивают осевые скелетные ветви на треть их длины. Главный побег укорачивают так, чтобы он превышал уровень укороченных ветвей на 10-15 см.

После проведения весенних посадочных работ, производится акт технической приемки выполненных работ для определения качества выполненных работ.

Строительство ступенчатых террас является эффективным способом механизированной противозрозионной обработки почвы на склонах крутизной 11-25⁰ под многолетние плодовые культуры.

Рекомендуется два способа сооружения ступенчатых террас: напашной на склонах крутизной 11-15⁰ и выемочно–насыпной на склонах 16-25⁰. Первый основан на перемещении и оборачивании почв грунта в сторону уклона и формирования полотна террасы за счет многократных проходов плуга. Второй обеспечивает сооружение террас с помощью мощных землеройных машин. Разбивка склонов под ступенчатые террасы проводится в соответствии с рабочим проектом. Террасы на склоне располагаются горизонтально и обозначаются колышками или прокопками на всех характерных изгибах местности так, чтобы с предыдущего пикета обеспечивать высокое качество террасирования и облегчить работу тракториста. Ширина террас должна быть 4,5-5,0 м. Это необходимо для улучшения водного режима почвы грунта, создания удовлетворительных условий для механизации трудоемких работ, предотвращения эрозии почвы и обеспечения продуктивного использования склонов под растительные культуры[1].

Расстояние между террасами зависит от крутизны склона: чем он круче, тем дальше размещают их по склону друг от друга. В то же время нужно стремиться, максимально использовать площадь склона. Поэтому располагать одну над другой террасу нужно так, чтобы между насыпной частью верхней нижележащей оставалась (не менее полуметра) ненарушенная (целинная) полоска склона, т.е. чтобы террасы не накладывались одна на другую. Для этого практически при разбивке расстояния между ними по склону можно определить отношением двойной ширины полотна к косинусу угла крутизны террасируемого склона в градусах. В связи с тем, что крутизна склона изменяется и на крутой части террасы приближаются друг к другу, а на пологой значительно удаляются, то для более полного использования площади склона между основными террасами делают террасы-выставки (клинья).

После строительства ступенчатых террас производится их окончательное выравнивание -полотну придают горизонтальное положение или уклон около 30^0 в сторону, обратную общему склону, а вертикальному откосу - угол в $60-70^0$. Подготовка почвы производится осенью.

В институте энергоресурсов и геоэкологии Южного отделения НАН КР имеется научно исследовательский полигон с площадью в 70га в урочище Олеке-Колот на территории сельской управы Курманбек Сузакского района Жалал-Абадской области. Из этих 70га подверглись оползням площадь 30га, на остальных 40га имеются глубокие и разнообразные трещины способствующие оползнеообразованию. На этой площади мы ежегодно проводим исследования на сдвиг и смещение оползней. Для предотвращения оползневых процессов силами работников лабаратории геоэкологичемких процесов ежегодно создаются лесомеллиоративные

противоэрозионные лесные полосы из яблонь и ореха грецкого[3] на площади 2га.

Выбору места под противоэрозионные лесокультуры необходимо уделять самое серьезное внимание, так как допущенную ошибку при выборе участка, трудно, а часто и не возможно исправить. Участки, предназначенные для выращивания ореха грецкого и яблони, должны отвечать их биологическим особенностям [2]. Учитывая потребность их в тепле и свете а также отношение к влажности и плодородия почвы противоэрозионных лесных культуры ореха грецкого и яблони размещая секцией 4х4м на богарных предгорьях и в равнинных местоположениях и на склонах всех экспозиций крутизной до 30°.

Имеются участки на склонах предгорья, изрезанные глубокими оврагами, промоинами и с выходом на земную поверхность скальных пород или с неглубоким их залеганием (до 1-1,5м). Закладка лесных противоэрозионных культур ореха и яблони на возвышенностях и склонах предгорий снижает опасность повреждения растений зимними морозами и весенними заморозками.

Ежегодно ранней весной на опорном полигоне произведется разбивка посадочных мест на создание противоэрозионных лесных культур. Согласно схеме (рис.1.) смещения и размещения посадочного материала между рядами яблони размещается 4х4м. Орех грецкий размещается в ряду и междурядьями по 8х8м. При таком размещении потребность посадочного материала на 1га орех грецкий составляет 156шт и лесной яблони составляет 469 шт. Вязь (карагач) посажен в один ряд через 3м вдоль оврага в качестве ограды. Если учесть что естественный отпад составляет 20%, то на дополнение потребуется дополнительно 20% саженцев. То есть ореха грецкого-31шт и яблони-94шт.

Правильная подготовка территории под плодовые насаждения очень важна. Поэтому необходимо, в первую очередь, составить проект организации территории, в основу которого должны быть положены требования передовой агротехники, борьба с эрозией почвы и широкая механизация работ. План освоения выделенного участка богарных предгорий составляется на основе крупномасштабного(1:1000 или 1:2000) картографического материала с обязательной вертикальной съемкой через 1м и разбивкой территории на кварталы с нанесением сети троп и малых дорог.

При проектировании кварталов на склонах длинную сторону следует располагать по возможности поперек уклона. Это целесообразно в противозерозионном отношении и в целях более производительного использования тракторных агрегатов при подготовке почвы и ухода за насаждениями.

В специфических условиях адырных предгорий и разрушенных земель подготовка участка имеет решающее значение. От того, насколько правильно решен этот вопрос зависит в последующем рост и урожайность культур, эффективность агротехнических мероприятий, применение механизмов, а главное, защита почвы от эрозии на склонах.

Посадка противозерозионных культур ореха и яблони производится как осенью, так и ранней весной, стандартными саженцами двухлетнего возраста, выращенными в питомнике Кара-Алминского лесхоза.

Лучшим сроком посадки ореха и яблони в условиях Юга Кыргызстана является ранняя весна, когда в почве накапливается достаточное количество влаги.

Посадка производится в ручную подготовленную ямку с подновлением площадки и ямки глубина и ширина ямки доводится до размера 40 x 40 см.

Срезы корней у растений перед посадкой необходимо обновить и обмакнуть в жижу из глины и навоза, затем ориентируя саженец по сторонам света так, как он рос в питомнике и установить его на посадочную ямку. Расправить корни и засыпать почву таким образом, чтобы корневая шейка растений при посадке почвы оказалась на уровне с поверхности почвы. При посадке надо следить за тем, чтобы земля заполнила все промежутки между корнями, для этого уплотняют ногой набрасываемую в яму почву.

На нижеследующем рисунке приведена схема смещения и потребность посадочного материала противоэрозионных лесных культур ореха грецкого и яблони.

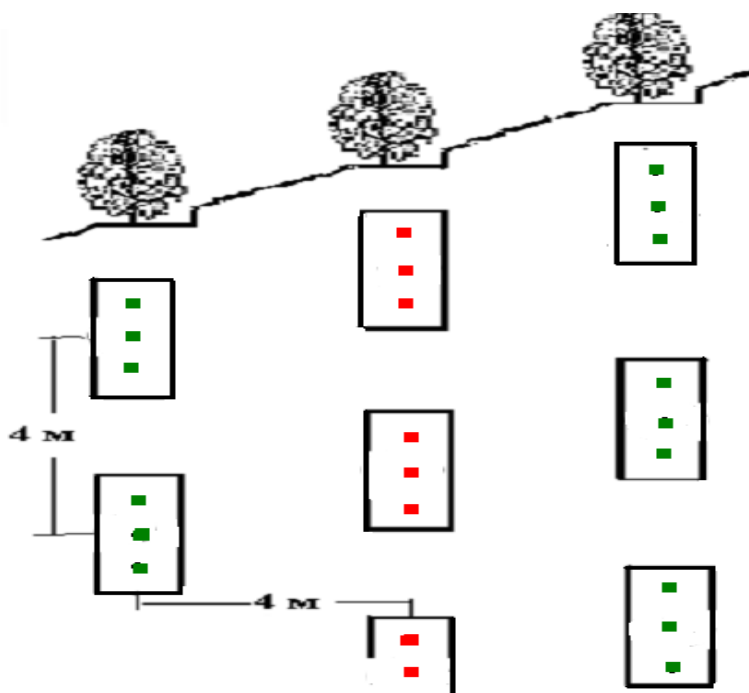


Рис. 1. Схема потребности и смещения посадочного материала лесных культур для противооползневой защиты на участке «Олоке-Колот»

Учитывая возможность отпада на лесные культуры предусматривается дополнение в размере 20%. Дополнение может проводиться на второй, или на третий год после посадки более крупномерными и высокосортными материалами тех же сортов. Лучшее время дополнения - ранняя весна.

На полигоне «Олоке-Колот» постоянно проводится обрезка крон деревьев и уход за почвой посаженных ранее саженцев. По всем участкам проведен баланс движения посадочного материала в разрезе пород на 2012-2014.

Таблица 1. Расход саженцев за период 2012-2014г. на полигоне Олоке-Колот (шт).

Вид саженцев	2012г.	2013г.	2014г.	Всего:
Орех	200	310	1200	1710
Яблоня	1200	1000	1200	3400
Вязь(карагач)	200	500	600	1300
Итого:	1600	1810	3000	6410

В связи с тем, что инженерно-технические сооружения в борьбе с оползневыми процессами являются дорогими, то посадка длиннекорневых саженцев способствующие защите почвы от эрозии и максимальной защиты от оползней являются наиболее дешевыми.

С применением предлагаемой методики обработки почвы и посадки саженцев на оползнеопасных склонах в урочище «Олоке-Колот» всхожесть посаженных саженцев составила 74%, что на 4% выше всхожести саженцев посаженных традиционными методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Мелихов Создания противозерозионных лесных насаждений в горных условиях. Госгеолтехиздат 1967.
2. Лесные культуры : учеб. / А. Р. Родин [и др.]. - М., 2002
3. Лесная энциклопедия: В 2-х т., т.2/Гл.ред. Воробьев Г.И.; Ред.кол.: Анучин Н.А., Атрохин В.Г., Виноградов В.Н. и др. - М.: Сов. энциклопедия, 1986.

УДК 539.30

**НАПРЯЖЕННОЕ И ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
ПОЛУПЛОСКОСТИ ОТ ДЕЙСТВИЯ НАГРУЗКИ
С ВОЗРОСТАЮЩЕЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ ЭПЮРОЙ**

А.А.Аманалиев, Б.Жумабаев

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Массивы горных пород обладающие изотропным [1]или анизотропным [2] упругими свойствами представлены как полуплоскость и определена напряженное и деформированное состояние, которые возникают от действия нагрузки с возрастающей треугольной эпюрой. Все задачи такого рода представляют интерес для расчета напряженного состояния земной коры и для оснований сооружений [3].

Связь между компонентами напряжений σ_x , σ_y , τ_{xy} и деформаций ε_x , ε_y , γ_{xy} подчиняется закону Гука [1-2]. На контуре изотропных и анизотропных полуплоскостей действует нагрузка с возрастающей треугольной эпюрой, которая показана и описана на рис. 1.

$$N_1(\xi) = \begin{cases} n = 0, & \text{если } \xi < L_1 \text{ и } \xi > L_2 \\ n = \frac{L_1 - \xi}{L_1 - L_2}, & \text{если } L_1 < \xi \leq L_2 \end{cases} \quad (1)$$

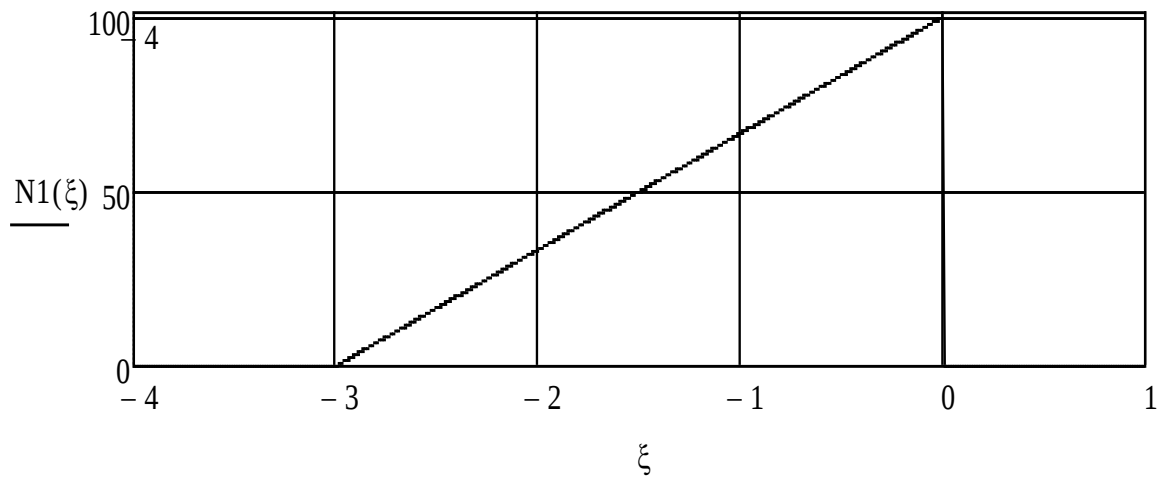


Рис. 1. Треугольная возрастающая эпюра

Для определенности обозначены: левая L_1 и правая L_2 границы загруженного участка контура полуплоскости $y=0$; P_0 – максимальное значение нормально действующей нагрузки N . Касательная составляющая внешних сил отсутствует, т.е. $T=0$.

Общее решение первой основной задачи для изотропных и анизотропных полуплоскостей, когда на их границе заданы внешние силы N и T , в работах [1-2] даны через соотношения для двух комплексных потенциалов. Они имеют аргументы $z=x+i*y$ в случае изотропного упругого тела [1], а для анизотропного тела комплексные аргументы разные [2]:

$$z_1(x, y) = x + \mu_1 y, \quad z_2(x, y) = x + \mu_2 y \quad (2)$$

Соотношения для комплексных потенциалов, которые определены из граничного условия (1) в случае изотропной полуплоскости, имеют вид:

$$\Phi(x, y) = \frac{-p_0}{2\pi i(L_1 - L_2)} \left[(L_1 - z(x, y)) \cdot \ln \left(\frac{L_2 - z(x, y)}{L_1 - z(x, y)} \right) + (L_1 - L_2) \right]$$

$$\Phi_p(x, y) = \frac{-p_0}{2\pi i L_1} \left[-\ln \left(\frac{L_2 - z(x, y)}{L_1 - z(x, y)} \right) + (L_1 - z(x, y)) \cdot \left(\frac{1}{L_1 - z(x, y)} - \frac{1}{L_2 - z(x, y)} \right) \right]$$

$$\Psi(x, y) = -z(x, y) \cdot \Phi_p(x, y)$$

Здесь принято обозначения:

$$p_0 = -100, i = \sqrt{-1}, z(x, y) = x + iy, \bar{z}(x, y) = x - iy, L_1 = -3, L_2 = 0.$$

Компоненты напряжений вычисляются известными в [1] соотношениями:

$$S_1(x, y) = 4\operatorname{Re}(\Phi(x, y)), \quad S_2(x, y) = 2(\overline{z(x, y)}\Phi(x, y) + \Psi(x, y)),$$

$$S_3(x, y) = \operatorname{Re}(S_2(x, y)),$$

$$\sigma_x = \frac{S_1(x, y) - S_3(x, y)}{2}, \quad \sigma_y = \frac{S_1(x, y) + S_3(x, y)}{2}, \quad \tau_{xy} = \frac{1}{2}\operatorname{Im}(S_2(x, y)).$$

Компоненты относительных деформаций определяется законом Гука [1]:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2,2 \cdot 10^4}(\sigma_x(x, y) - \nu\sigma_y(x, y)), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{2,2 \cdot 10^4}(\sigma_y(x, y) - \nu\sigma_x(x, y)),$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1 + \nu)}{2,2 \cdot 10^4}\tau_{xy}.$$

Расчеты выполнены для одного типа трансверсально-изотропных горных пород со следующими упругими характеристиками (серый песчанистый сланец):

$$E = 2,2 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \nu_1 = 0,4; E_2 = 0,52 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \nu_2 = 0,2, G_2 = 0,12 \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

Корни характеристического уравнения для этой породы равны: $\mu_1 = 1,662 \cdot i$; $\mu_2 = 0,937 \cdot i$; Для изотропного тела приняты характеристики этой породы, которые приведены без индекса снизу.

Из эпюр распределения напряжений (рис.2.) видно, что вертикальная компонента по глубине убывает быстрее, чем другие компоненты; вертикальная компонента на контуре полуплоскости почти точно повторяет закону распределения внешней силы; Касательная и горизонтальная нормальная компоненты по глубине убывают почти одинаково.

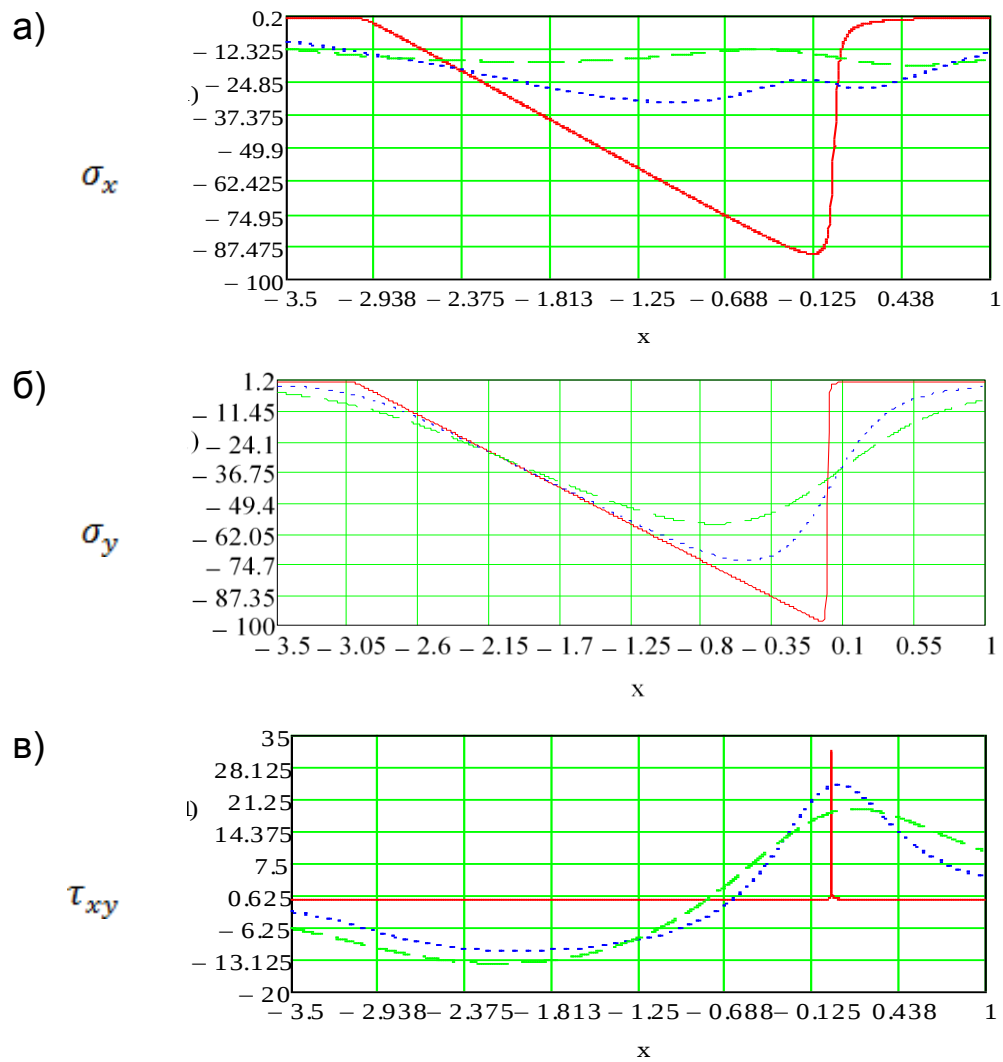


Рис.2. Эпюры распределения напряжений в горизонтальных сечениях.

- $x = -0,01$;
- $x = -0,5$;
- - - $x = -1$.

Компоненты напряжений для анизотропного тела выражаются двумя комплексными потнциалами, которые удовлетворяют граничные условия (1) и имеют вид:

$$\Phi_1(x, y) = \frac{p_0 \mu_2}{L_1} \left[(L_1 - z_1(x, y)) \cdot \ln \left(\frac{L_2 - z_1(x, y)}{L_1 - z_1(x, y)} \right) + (L_1 - L_2) \right] \cdot \Delta_0$$

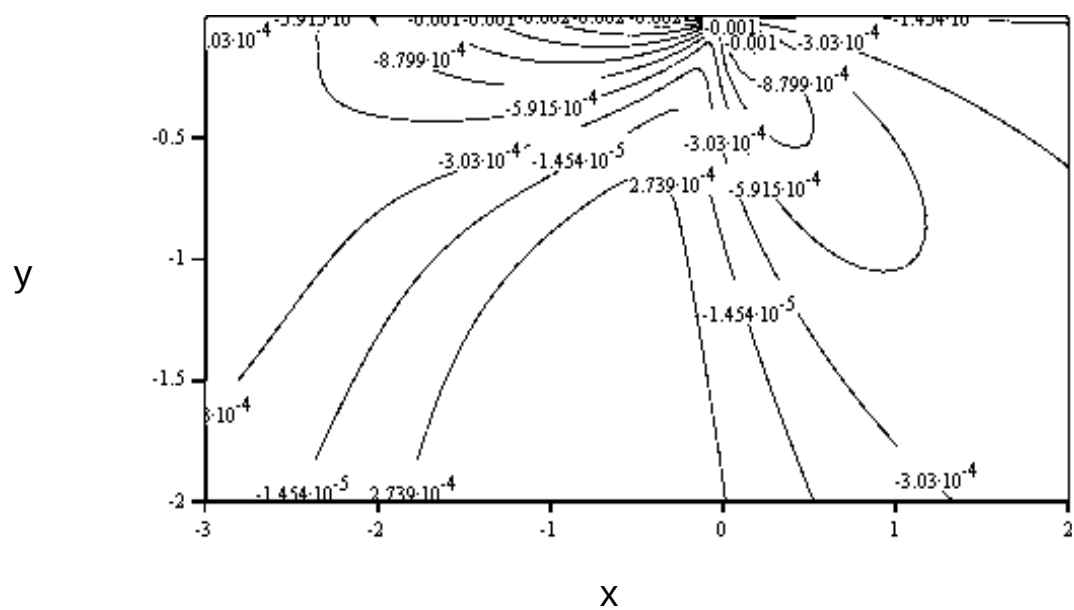
$$\Phi_2(x, y) = -\frac{p_0 \mu_1}{L_1} \left[(L_1 - z_2(x, y)) \cdot \ln \left(\frac{L_2 - z_2(x, y)}{L_1 - z_2(x, y)} \right) + (L_1 - L_2) \right] \cdot \Delta_0$$

Здесь принято

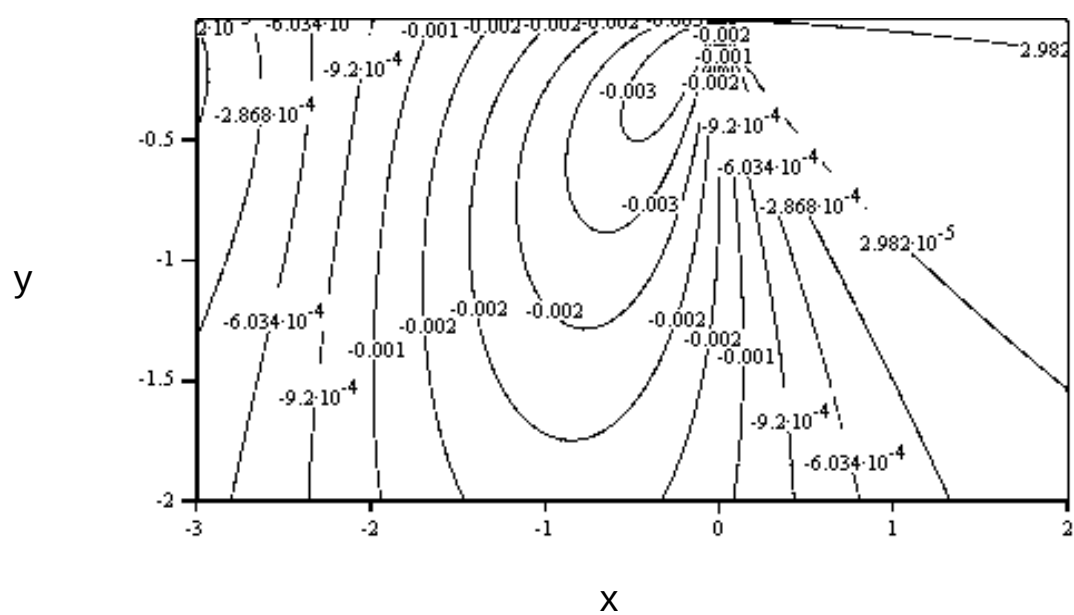
$$\mu_1 = 1,662i, \quad \mu_2 = 0,937i, \quad z_1(x, y) = x + \mu_1 y, \quad z_2(x, y) = x + \mu_2 y,$$

$$\Delta_0 = \frac{1}{2\pi i} \cdot \frac{1}{\mu_1 - \mu_2}$$

a)



b)



в)

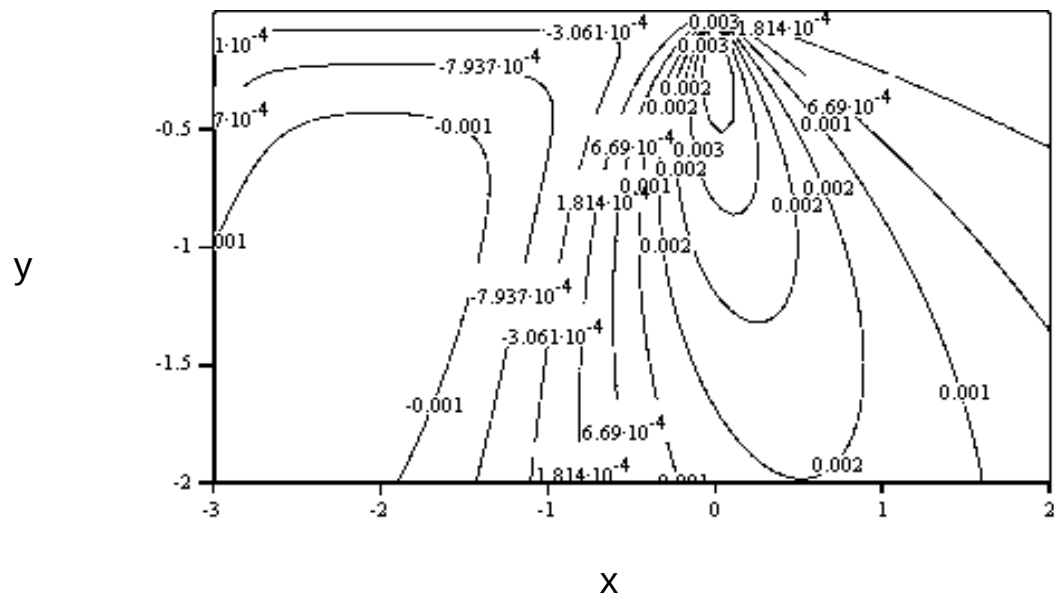


Рис.3. Изолинии компонентов относительных деформаций.

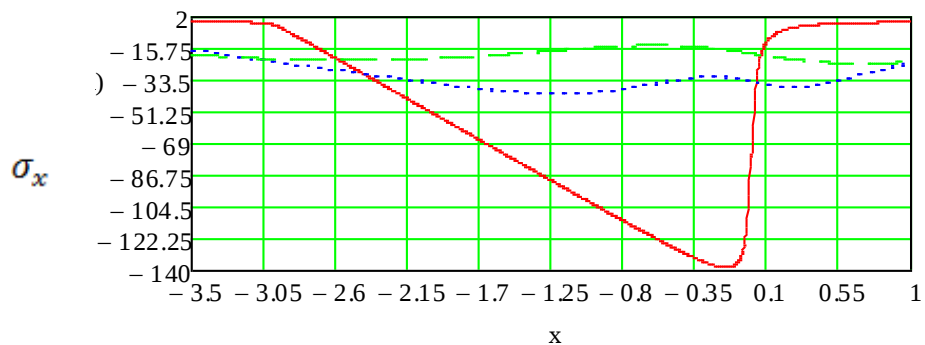
- а) горизонтальная относительная деформация;
- б) вертикальная относительная деформация;
- в) угловая деформация.

Компоненты напряжений и комплексные потенциалы связаны соотношениями

$$\sigma_x = 2\operatorname{Re}(\mu_1^2 \Phi_1(x, y) + \mu_2^2 \Phi_2(x, y)), \quad \sigma_y = 2\operatorname{Re}(\Phi_1(x, y) + \Phi_2(x, y)),$$

$$\tau_{xy} = -2\operatorname{Re}(\mu_1 \Phi_1(x, y) + \mu_2 \Phi_2(x, y)).$$

а)



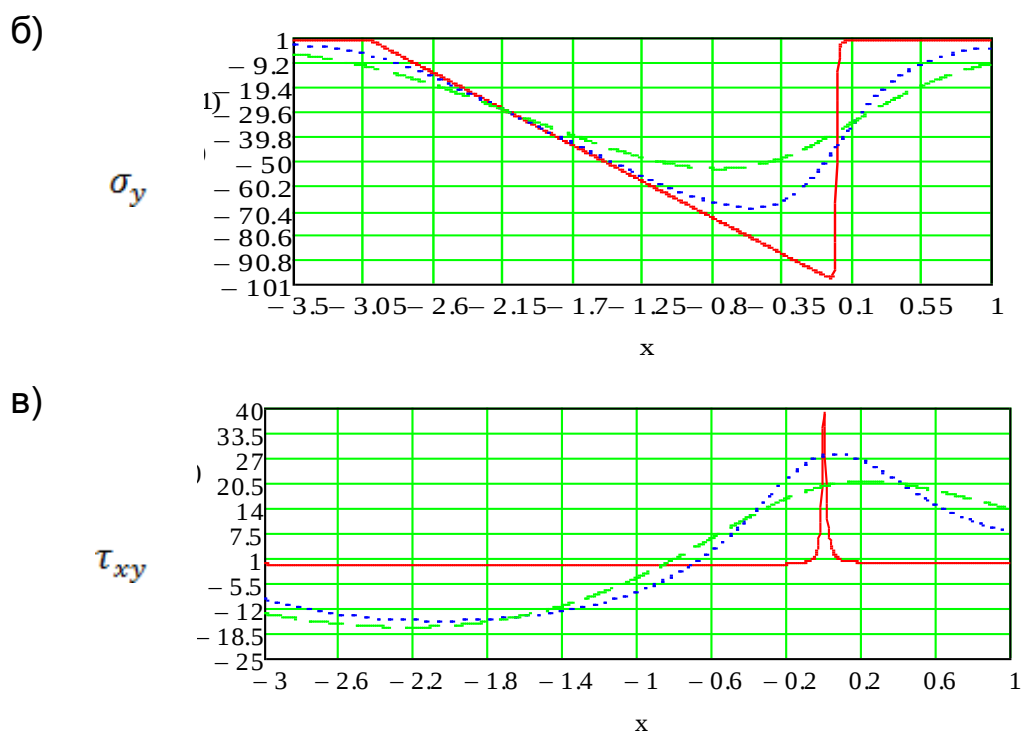
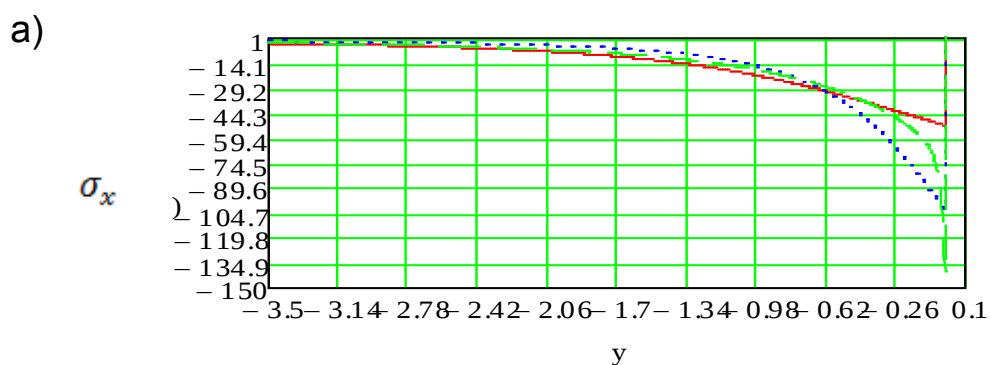


Рис. 4. Эпюры распределения напряжений в горизонтальных сечениях

- $x = -0,01$;
- $x = -0,5$;
- - - $x = -1$.

Следует отметить, что для записи всех формул расчета напряжений, деформаций и графических изображений этих перечисленных величин использована нотация Mathcad [4], что является новацией в технологии проведения исследований.



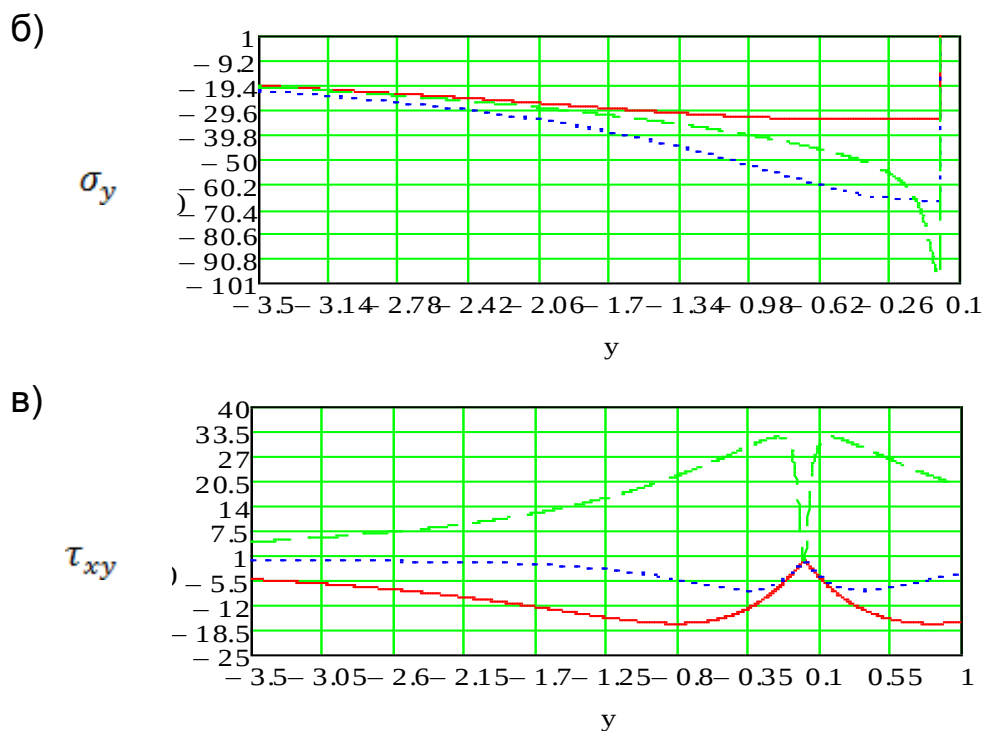


Рис. 5. Эпюры распределения напряжений в вертикальных сечениях.

- $x = -0,01;$
- $x = -0,5;$
- - - $x = -1.$

1. Дана постановка и аналитическое решение граничных задач для изотропной и анизотропной полуплоскости, когда на ее контуре действует нагрузка, эпюра которого возрастающая треугольная.

2. Построены эпюры распределения напряжений для различных глубин в горизонтальных сечениях и различных вертикальных сечениях полуплоскостей, а также закономерности распределения компонентов напряжений и относительных деформаций

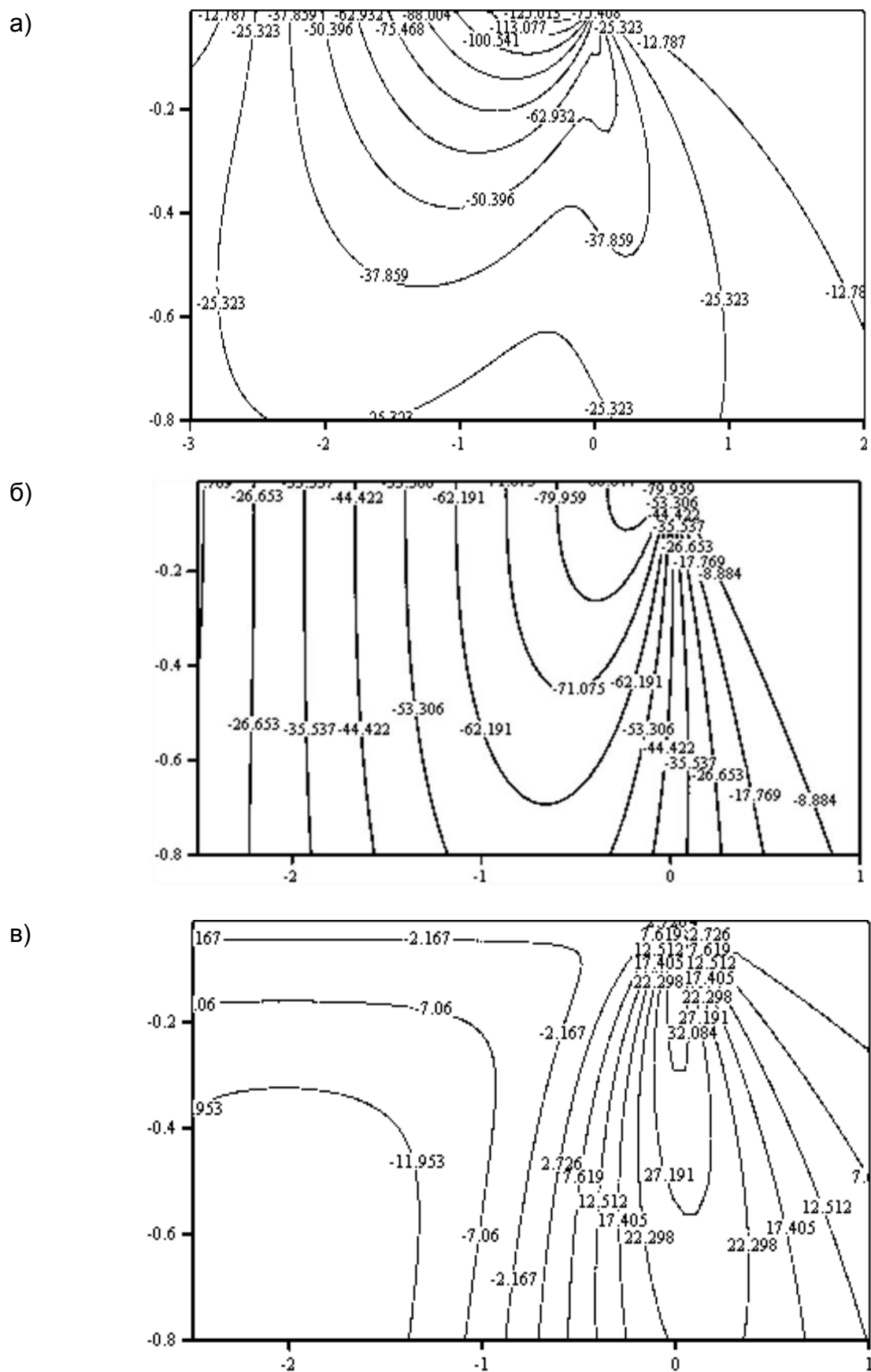


Рис.6. Изолинии компонентов напряжений в анизотропной полуплоскости: а) горизонтальная компонента; б) вертикальная компонента; в) касательной компонента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. – 707 с.
2. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела.:Наука, М.,1977, 416с.
3. Жумабаев Б.Ж. Распределение напряжений в массивах пород с гористым рельефом. – Издательство “Илим” Фрунзе, 1988. – 190 с.
4. Кирьянов Д. В. MathCAD 14. – СПб.: БХВ-Петербург. – 704 с.

УДК 624.127:539.3

**ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ
ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС НА ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

К.А.Кокумбаева

Жалал-Абадский государственный университет

Ввод в эксплуатацию гидроэлектростанции обычно связан с созданием водохранилища, основным назначением которого является перераспределение речного стока во времени. Влияние водохранилища на водный режим реки и, соответственно, на окружающую среду тем значительней, чем больше его абсолютный и относительный полезные объемы по сравнению со среднемноголетним стоком.

Токтогульский ГЭС имеет большое народно-хозяйственное значение. Помимо регулирования стока преимущественно в энергетических целях, он используется на орошение ферганской долины.

Токтогульское водохранилище - водохранилище на территории Токтогульского района Джалал-Абадской области Киргизии. Образовано плотиной Токтогульской ГЭС на реке Нарын [1], которая является самым большим водохранилищем в Центральной Азии. Объем чаши ГЭС составляет $19,5 \text{ км}^3$. На 22 июля 2014 года объем воды составлял 18 миллиардов 207 миллионов кубометров [2,9]. В каскад Токтогульских ГЭС входит две станции — непосредственно

Токтогульская с мощностью 1200 МВт и Курпсайская с мощностью 800 МВт [3]. Высота плотины Токтогульской ГЭС составляет 215 м. Устойчивость и прочность плотины обеспечивается не только действием собственного веса (60%), но и работой гидроагрегатов, колебанием уровня воды в водохранилище с передачей нагрузки на скальные берега (40%).

Характеристика динамики изменения уровня воды в водохранилище – скорость повышения или снижения горизонта в расчетном интервале времени – в диспетчерских графиках не оговаривается. Однако эта характеристика имеет важное и часто определяющее значение для безопасности гидротехнических сооружений.

Колебания уровня воды в водохранилище в процессе его эксплуатации сопровождаются перестройкой напряженно-деформированного и фильтрационного состояния массива. При изменении уровня воды в водохранилище, в массиве могут возникать зоны избыточного давления, в которых развиваются процессы разрушения массива. При этом разрушение происходит за счет прорастания крупных проницаемых трещин, в то время как концентрация маленьких трещин может остаться прежней.

В результате этого и ряда других явлений, также оказывающих отрицательное воздействие на безопасность гидротехнических сооружений, возникает необходимость поддержать определенных ограничений при назначении режимов работы водохранилища.

Очевидно, что применение ограничений изменения уровня воды в водохранилище приводит к изменению режима работы водохранилища, и как следствие – к изменению режима работы гидроэлектростанции. Также изменяются показатели работы гидроэлектростанции в сравнении с вариантом, при котором эти

ограничения не учитываются (уменьшаются среднегодовая выработка электроэнергии, гарантированная зимняя мощность и др.).

Как отмечается, с начала года выработано 12 миллиардов 418 миллионов 619 тысяч киловатт-часов электричества. «На всех генерирующих объектах проведены противоаварийные тренировки персонала. Выполнен капитальный и средний ремонт гидроагрегатов Токтогульской, Курпсайской, Таш-Кумырской, Ат-Башинской, Шамалды-Сайской ГЭС. Продолжается капитальный ремонт второго гидроагрегата Учкурганской ГЭС».

Судя по информации в настоящий момент объем воды в Токтогулке чуть больше 11 млрд. 970 млн. кубометров. Причина, почему мы от этого не можем получить достаточно энергии – со снижением уровня воды уменьшается ее давление. Ну а с малым давлением невозможно получить много энергии. Этой зимой мы сможем запустить в работу 4 млрд. кубометров воды. Однако, оставшиеся после этого 7 млрд. кубометров не дадут возможности для дальнейшей работы ГЭС. Если при объеме 7,1 млрд. кубометров полностью не остановить агрегаты ГЭС, то принесло бы угрозы работе ГЭС (авария на Саяно-Шушинской ГЭС 2009 года). Поэтому нам правильней не рисковать, надо остановить половину гидроагрегатов. Тем не менее, для нас сейчас исключительно важно, чтобы мы опять установили 15-ти миллиардный режим государственного порядка в использовании водных ресурсов Токтогульского водохранилища. Только тогда после окончания зимы осталось бы 8-9 млрд.кубометров воды и это не принесло бы угрозы работе ГЭС. Предельно малым объемом воды в водохранилище считается граница в 5,1 млрд. кубометров.

Створ гидроузла расположен в узком скалистом каньоне, глубина которого достигает 1500-1800 м. над уровнем море, а крутизна склонов составляет 65-75°. Основания и борта ущелья сложены

мраморизированными слоистыми известняками, разбитыми многочисленными тектоническими трещинами. В строении рассматриваемой площади принимают участие карбонатные породы нижнего отдела каменно-угольной системы.

В массиве известняков, присутствуют тела карбонатных пород неправильной формы тектонического происхождения, объединенные под общим названием «тектониты». Скальный массив подразделяется на две основные группы пород: перекристаллизованные известняки и тектониты [3,4].

Наблюдения за состоянием склонов в створе Токтогульской ГЭС проводятся с 1969 года силами сотрудников Института физики и механики горных пород НАН КР (с 2008 г –Институт геомеханики и освоения недр). и сотрудниками САО Гидропроект им. С.Я.Жука. В результате этих исследований [3,4] на участке основных сооружений Токтогульской ГЭС в бортах долины выявлено 30 потенциально неустойчивых массивов объемом от 15-25 тыс.м³ до 1000-1110 тыс.м³ общим объемом 7505 тыс.м³. Из них 19 массивов общим объемом 4675 тыс.м³. находятся на левом берегу Нарына, включая трещины 69, 995, 995а, а остальные 11 массивов объемом 2830 тыс.м³- на правом берегу, включая массив №59-1 объемом 48 тыс.м³.

Изучению напряженного состояния и устойчивости склонов в створах плотины Токтогульской ГЭС посвящены работы отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 5, 6, 7]. Установлено, что влияние уровня воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов зависит от соотношения глубины долины и водохранилища. В случае, когда глубина долины в 6 раз превышает глубину водохранилища, влияние водохранилища на распределение и величины напряжений невелико, так как напряжения, обусловленные собственным весом пород немного больше

дополнительных напряжений, возникающих под действием воды в водохранилище [1].

В створе Токтогульской ГЭС глубина каньона составляет от 1200 до 1500 м. над уровнем моря, а глубина водохранилища – 900 м. Глубина каньона превышает глубину водохранилища в 1,3 – 1,7 раза, т.е. влияние водохранилища на напряженно-деформированное состояние неустойчивых скальных блоков в створе Токтогульской ГЭС является значительным [8].

Установлено, когда в каньонах горных рек образуются водохранилища ГЭС (Токтогульское, Камбаратинское и др.), меняется естественное напряженное состояние массивов пород, слагающих склоны [5].

На основании сопоставления результатов исследований для анизотропного, неоднородного и однородного массивов пород В.Я.Степановым установлено [2] что при создании водохранилища в склонах каньона независимо от типа среды (однородная, неоднородная, анизотропная) можно выделить области, которые характеризуются следующим распределением дополнительных напряжений:

- область сжимающих вертикальных и растягивающих горизонтальных напряжений в основании каньона;
- область сжимающих вертикальных и сжимающих горизонтальных напряжений располагается в части склона, примыкающего к водохранилищу;
- область сжимающих горизонтальных и вертикальных напряжений располагается выше второй области на отметках, несколько выше и ниже уровня водохранилища;
- область растягивающих горизонтальных и растягивающих вертикальных напряжений располагается в верхней части склона.

На данном этапе уровень воды в Токтогульской ГЭС составляет, как уже отмечено 11 млрд. 875 млн. кубометров. Это на 4 млрд. кубометров меньше, чем прошлого года. 2008 году была точно такая ситуация.

По данным натурных наблюдений Токтогульской ГЭС [8,9] построены зависимости изменения уровня воды и смещение потенциально неустойчивого блока № 3 за период 2007-2009 гг.. Установлено, что при изменении уровня воды в водохранилище, меняется смещение неустойчивого блока №3 по трещинам.

Для оценки характера смещения блока, далее построены зависимости смещений верхнего и нижнего ярусов потенциально неустойчивых скальных блоков в зависимости от напора воды в водохранилище по сезонам. По данным службы эксплуатации и натурных наблюдений каскада Токтогульских ГЭС смещение со знаком (-) обозначает, что движение смещений направлено в сторону основного массива, а со знаком (+), движение смещение в сторону реки Нарын.

Результаты расчетов выполненной нами [8] показывал, что при изменении уровня воды меняется и напряженное состояние массива склонов. В правом склоне однородного сложения на уровне воды горизонтальные напряжения являются сжимающими, которые по мере увеличения уровня воды снижаются. В неоднородном склоне увеличения уровня воды приводит к постепенному снижению горизонтальных растягивающих напряжений.

Появление зоны с растягивающими напряжениями можно объяснить следующим образом. При наличии воды в водохранилище массив будет испытывать соответствующее объему воды давление, в то же время в самом массиве появляются противодействующие силы. При снижении уровня воды в водохранилище, давление воды, действующее на массив, уменьшается, а противодействующие

силы самого массива, остаются некоторое время практически постоянными, что и в свою очередь приводит к нарушению равновесия массивов пород склона и возникновению растягивающих горизонтальных напряжений.

Оптимальным уровнем воды в водохранилище Токтогульской ГЭС установлен уровень, равный 130м[8], при котором наблюдается минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений на уровне воды и максимальное значение сжимающих горизонтальных напряжений.

Эксперты отмечают, что если уровень воды упадет ниже упомянутой отметки, то оборудование ГЭС может выйти из строя.

Перед сотрудниками гидроузла такая задача, что они должны стараться поддерживать оптимального уровня воды в водохранилище Токтогульской ГЭС.

Таким образом, установлено, уровень воды в водохранилище является фактором, оказывающим влияние на равновесие массивов пород склона и на безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений ГЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика инженерно-геологических исследований высоких обвальных и оползневых склонов. Под ред. Г.С.Золотарева и М.Янича. М., Изд-во Моск. Университета, 1980 г., 184 с.
2. Степанов В.Я. Механика горных склонов. Бишкек, Илим, 1992 г, 192 с.
3. Отчеты ИГОН НАН КР . 2006, 2007, 2008, 2009 гг.
4. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Технический проект основных сооружений. Т.1. Природные условия, инженерно-геологическое обоснование. Ташкент. САО Гидропроект, 1969 г. 301 с.
5. Напряженное состояние массивов речных каньонов и межгорных впадин в условиях влияния плотин и водохранилищ. //Проблемы

разработки полезных ископаемых в условиях высокогорья. Фрунзе: Из-во ФПИ, 1990. Ч-1. С-39

6. Гвелесиани Т.Л. Сейсмические сейши в рукавах и бухтах водохранилищ при вертикальном смещении части их ложа в результате землетрясения. Сообщения АН ГССР, 1968, т.52.
7. Тетельмин В.В. Составляющие силового воздействия водохранилищ на основания высоких плотин. Журнал «Гидротехническое строительство». 1985 г.
8. Кокумбаева К.А., Никольская О.В. Влияние колебания уровня воды в водохранилище на смещение потенциально неустойчивых блоков склона в створе Токтогульской ГЭС. Журнал «Наука и новые технологии», 2009 г.
9. Технический отчет по натурным наблюдениям за состоянием гидротехнических сооружений Каскада Токтогульских ГЭС за 2014 год.

УДК 532.546.628.36 (572.2)

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ ГРУНТА НА ПРОЦЕСС ИСПАРЕНИЯ

С.Б. Омуралиев

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Теория вопроса испарения влаги с поверхности грунтов имеет большое научное и практическое значение.

Исследования закономерностей испарения влаги из грунтов немногочисленны. Как показал анализ литературного материала, несмотря на отдельные имеющиеся работы по изучению закономерностей испарения влаги из различных грунтов, эта проблема остается еще недостаточно изученной.

Как известно, процесс испарения влаги из грунтов находится в прямой зависимости от внешних и внутренних факторов.

Факторы внутренние – свойства самих почво-грунтов, их цвет, структура, сложение, гранулометрический состав и др. Влияние этих факторов было подробно рассмотрено рядом исследователей [1, 2, 3].

Внешние факторы – метеорологические условия, относительная влажность воздуха, ход суточных температур, количество осадков, сила ветра, условия рельефа и др. Несмотря на отдельные труды и работы исследователей по изучению внешних факторов, многие стороны этого процесса в литературе остаются пока не освещенными, а в расчетные уравнения балансов часто входят константы и параметры, опирающиеся на устаревшие исследования. Почво-грунты, расположенные на разных элементах рельефа, испаряют

неодинаковое количество воды. Всего больше испаряется воды в почво-грунтах, расположенных на южных склонах, и наименьшее на северных, причем эта разница тем больше, чем сильнее крутизна склона.

Установлено [4], что интенсивность испарения воды из техногенных грунтов может существенно отличаться от испарения с открытого поля из-за различия в плотности, влажности грунтов, скорости потока воды к испаряющей поверхности, транспирации влаги растениями и т.п..

В частности, почти неисследованным остается целый ряд внутренних и внешних факторов, влиянием которых часто пренебрегают (из-за его неизученности), но от которых параметры испарения могут находиться в прямой зависимости. Практически неисследованным остается влияние на этот процесс минерального состава грунта, степени его водонасыщения (S_r).

Главной задачей экспериментальных исследований на модельных материалах, являлось установление влияния степени водонасыщения на испарение.

Методика исследований

Методика исследований влияния указанных выше факторов на процесс испарения влаги из грунтов основывалась на анализе нестационарных потоков влаги при испарении в изотермических условиях.

Для изготовления образцов материала были выбраны: песок речной и суглинистый грунт из места оползня.

Для проведения модельных испытаний были приготовлены образцы с различным процентным содержанием песчаных–суглинистых фракций (2 мм): песок:суглинок=(100:0)%; песок:суглинок=(70:30)%; песок:суглинок=(30:70)%; песок:суглинок=(0:100)%.

Результаты изучения физических свойств анализируемых грунтов приведены в табл.1.

Таблица-1. Физические свойства исследуемых грунтов

Наименование грунта	Плотность частиц ρ_s , г/см ³	Плотность скелета/плотность грунта $\rho_d/\rho_{гр}$, г/см ³	Пористость m , %	Коэффициент пористости, e	Полная влагоемкость W_e , % (Содержание воды, мл)
Песок речной мелкозернистый (размер частиц 2 мм)	2,65	1,63/1,82	38,47	0,63	11,62 (100 мл)
	2,65	1,69/1,98	36,12	0,57	16,96 (150 мл)
	2,65	1,68/2,09	36,44	0,57	24,09 (200 мл)
Песок: суглинок =(70:30)%	2,67	1,71/1,95	36,13	0,57	14,35 (100 мл)
	2,67	1,65/1,98	38,13	0,62	19,86 (150 мл)
	2,67	1,49/1,90	44,24	0,79	27,62 (200 мл)
Песок:суглинок=(30:70)%	2,69	1,62/1,96	38,05	0,61	17,61 (100 мл)
	2,69	1,58/1,95	41,15	0,70	23,18 (150 мл)
	2,69	1,51/1,93	43,93	0,78	27,97 (200 мл)
Суглинок	2,70	1,42/1,85	43,08	0,76	20,37 (100 мл)
	2,70	1,52/1,89	43,84	0,78	24,65 (150 мл)
	2,70	1,50/1,95	44,44	0,80	29,99 (200 мл)

Предварительно взвешенные водонасыщенные образцы грунта в цилиндрических пластмассовых стаканах ставились под воздушную тягу для испарения из них влаги в одинаковых температурных условиях ($T=27^{\circ}\text{C}$). В контрольном стакане была вода без грунта. Затем велись наблюдения за потерей грунтом массы (Δm) во времени. В начале наблюдений (2-3 сут.) образцы в стаканах взвешивались 2-3 раза в сутки, далее – 1 раз в сутки.

В эксперименте изучалось влияние степени водонасыщения на испарение влаги из грунтов в течении времени. Были приготовлены образцы с разной начальной влажностью и соответственно с разной степенью водонасыщения при одинаковой плотности грунта. Для этого

указанную абсолютно сухую навеску грунта помещали в пластмассовую чашку и добавляли соответственно 100,150,200 см³ воды и тщательно перемешивали содержимое до равномерного увлажнения. После этого грунт помещали в пластмассовые стаканчики (емкость 400 мл), с постоянным постукиванием металлической палочкой по стакану для достижения плотного состояния грунта и выравниванием его поверхности шпателем, как это описано в книге «Практикум по грунтоведению» (1993 г).

Были заданы следующие начальные значения весовой влажности модельных материалов (W%) и степени водонасыщения S_r (см.табл.2).

Таблица-2. Начальные значения влажности грунтов и степени водонасыщения

Виды грунтов	Количество воды, см ³	Влажность грунтов, W%	Степень водонасыщения, S_r
Речной песок, (2 мм)	100	11,65	0,49
	150	16,96	0,79
	200	24,09	1,11
Песок:суглинок (70:30)%	100	14,35	0,68
	150	19,86	0,86
	200	27,62	0,93
Песок:суглинок (30:70)%	100	17,61	0,77
	150	23,18	0,89
	200	28,15	0,96
Суглинок	100	20,37	0,73
	150	24,65	0,85
	200	29,99	1,01

Затем на весах производился замер первоначальной массы насыщенного образца. По результатам опытов были получены зависимости изменения массы образцов m во времени t вида: $m=f(t)$. Значения интенсивности испарения i_u , выраженные в см/час, определялись по формуле:

$$i_{\text{и}} = \vartheta / S,$$

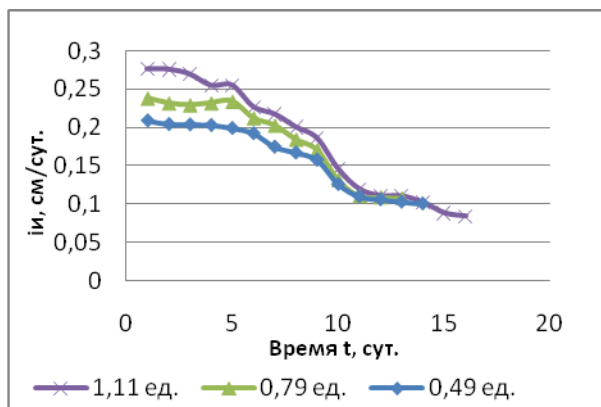
где $\vartheta = \Delta m / \Delta t$ – скорость испарения, см³/час; S – площадь образца, см²; Δm – изменение массы образца за интервал времени Δt , г; Δt – интервал времени, час..

Величина i_u может измеряться в г/ч*см². Учитывая, что плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$, значения i могут также выражаться в см/ч или см/с по системе СИ. При этом $1 \text{ г/ч*см}^2 = 1 \text{ см/ч}$. В результате были получены графики зависимости интенсивности испарения (i_u) от времени (t).

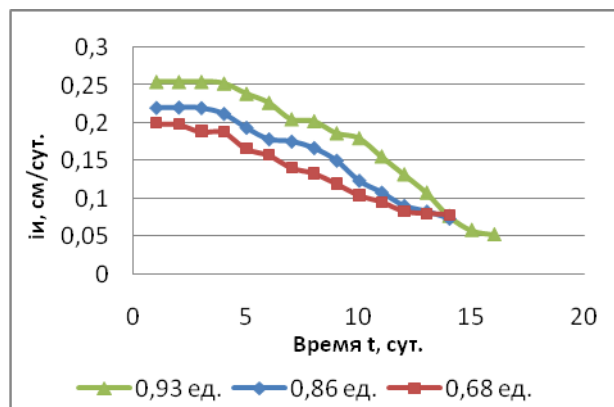
Результаты исследований

Замечено, что грунты, т.е. модельные материалы, испаряют количество воды неодинаково. Насыщенные водой песчаные грунты испаряют воды больше, чем суглинков. Получены графики зависимости интенсивности испарения влаги (i_u) от времени (t), для образцов модельных материалов с разной начальной степенью водонасыщения (S_r) (рис.1).

а)



б)



в)

г)

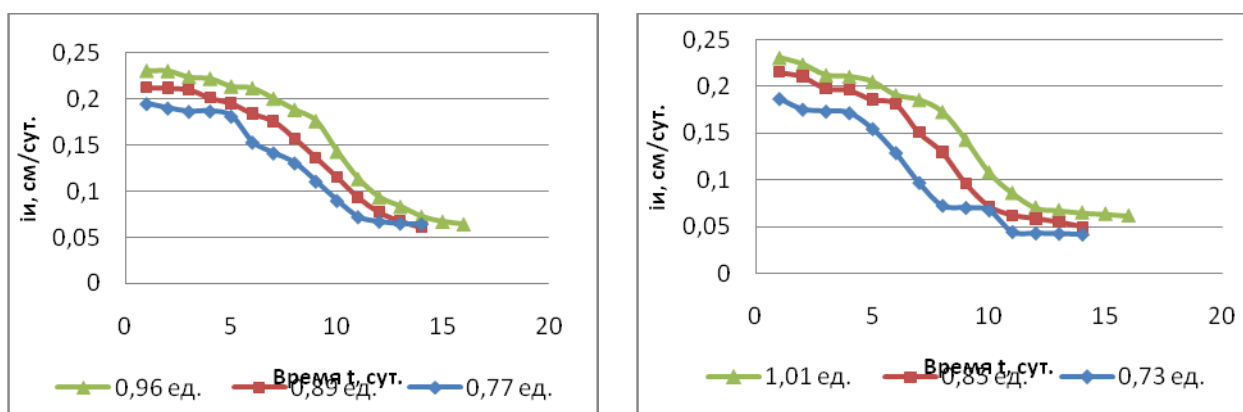


Рис. 1. Зависимость интенсивности испарения влаги из модельных материалов от времени при различной начальной степени водонасыщения:

а)-песок:суглинок=(100:0)%; **б)**-песок:суглинок=(70:30)%;

в)-песок:суглинок=(30:70)%; **г)**-песок:суглинок=(0:100)%)

Графики (рис.1) интерполировались полиномами 4-й и 5-й степени с коэффициентами корреляции $R = 0.9994-0.9933$.

Данные представлены в табл.3.

Таблица-3. Виды функции

Виды грунтов	Сте пени водо нас- ния, S_r	Виды функции	Коэфф. корр- ции, R
а). Песок: суглинок (100:0)%	1.11	$Y=7E-07x^4+0.0001x^3-0.0035x^2+0.0105x+0.2678$	0.9949
	0.79	$Y=5E-05x^4-0.0013x^3+0.0093x^2-0.0254x+0.2551$	0.9959
	0.49	$Y=2E-05x^4-0.0006x^3+0.0035x^2-0.0092x+0.2146$	0.9956
б). Песок: суглинок (70:30)%	0.93	$Y=5E-06x^4-0.0001x^3+0.0003x^2-0.0027x+0.2599$	0.9965
	0.86	$Y=8E-06x^4-0.0001x^3-0.0002x^2-0.0015x+0.2245$	0.9960
	0.68	$Y=-3E-07x^4+0.0001x^3-0.0024x^2+0.0035x+0.1989$	0.9980
в). Песок: суглинок (30:70)%	0.96	$Y=2E-05x^4-0.0005x^3+0.0037x^2-0.0113x+0.2395$	0.9971
	0.89	$Y=2E-05x^4-0.0005x^3+0.0024x^2-0.0072x+0.2188$	0.9994
	0.77	$Y=1E-05x^4-0.0001x^3-0.0011x^2+0.0044x+0.1894$	0.9969
г). Песок: суглинок (0:100)%	1.01	$Y=-5E-06x^5+0.0002x^4-0.0036x^3+0.0231x^2-0.0653x+0.2804$	0.9972
	0.85	$Y=-9E-06x^5+0.0004x^4-0.005x^3+0.028x^2-0.0686x+0.2636$	0.9981
	0.73	$Y=-4E-06x^5+0.0001x^4-0.0014x^3+0.003x^2-0.0032x+0.185$	0.9933

Графики функции интенсивности испарения $i_u(t)$, так же как и графики зависимости $m(t)$, имеют одинаковую форму (рис.2), например: песок:суглинок = (100:0)%.

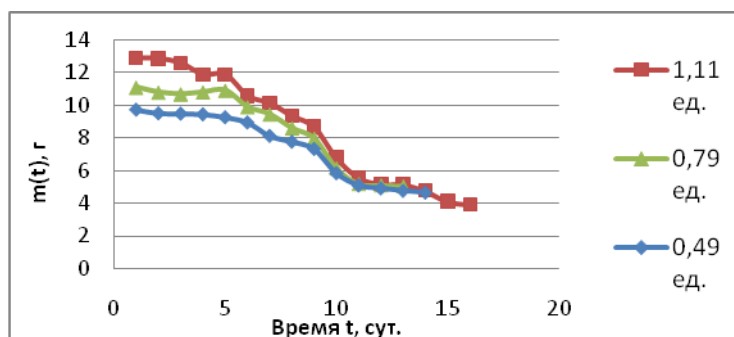


Рис. 2. Зависимость потери массы образцов песка (m) при испарении от времени (t) с разной начальной степенью водонасыщения

Анализируем рис.1 – (а)-(з).

На них можно выделить три участка: 1) На начальном этапе почти горизонтальный или пологий, на котором функция $i_u(t)$ имеет максимальные значения; 2) убывающий, характеризующийся относительно резким снижением значений функции $i_u(t)$; 3) для конечного этапа характерны весьма низкие величины интенсивности испарения, т.е. график функции $i_u(t)$ становится пологим и асимптотически стремятся к нулевым значениям.

Аналогично такие участки получили для остальных грунтов (песок:суглинок=(70:30)%); песок:суглинок=(30:70)% и суглинок).

Явление закономерного уменьшения скорости испарения во времени объясняется особенностями дегидратации порового пространства грунта: по мере испарения влаги из грунта удаляется вода все большего энергетического уровня связи с поверхностью. Когда категория влаги сменяется с «капиллярно-пленочной» на «капиллярно-стыковую» (существующую в виде «манжет» на стыках песчаных частиц), энергия связи воды с поверхностью частиц

возрастает-соответственно механизм испарения меняется и скорость испарения из образца становится меньше [2].

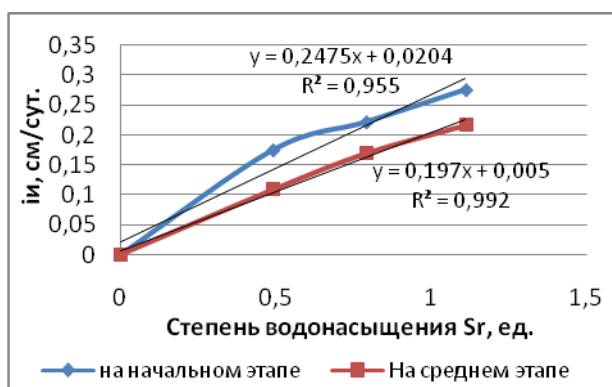
Кроме того, как показывает анализ графиков функции $i_u(t)$, интенсивность испарения влаги закономерно возрастает с увеличением начальной степени водонасыщения грунта. Наибольшие величины интенсивности испарения наблюдаются для образцов с наиболее высокой степенью начальной водонасыщения. Для образцов низкой степенью водонасыщения интенсивность испарения меньше.

Было отмечено, что в ходе самого процесса испарения влаги из речного песка не только уменьшается степень его водонасыщения в целом, но и меняется его влажность по глубине.

По мере осушения песка в результате перехода категории влаги из капиллярно-пленочной в капиллярно-стыковую энергия связи воды с твердой минеральной поверхностью грунта увеличивается, Далее процесс дегидратации постепенно захватывает категории воды, все больше энергетически связанные с минеральной поверхностью, и интенсивность испарения по мере дальнейшего осушения грунта закономерно снижается, приближаясь в итоге к нулю [2].

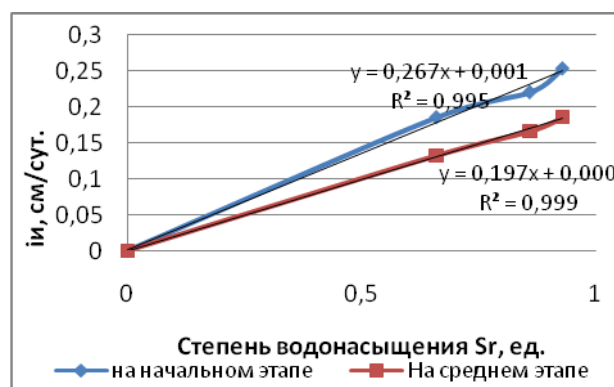
Зависимость $i=f(S_r)$, показанная на рис.3, имеет на разных этапах испарения линейный вид.

A1



A3

A2



A4

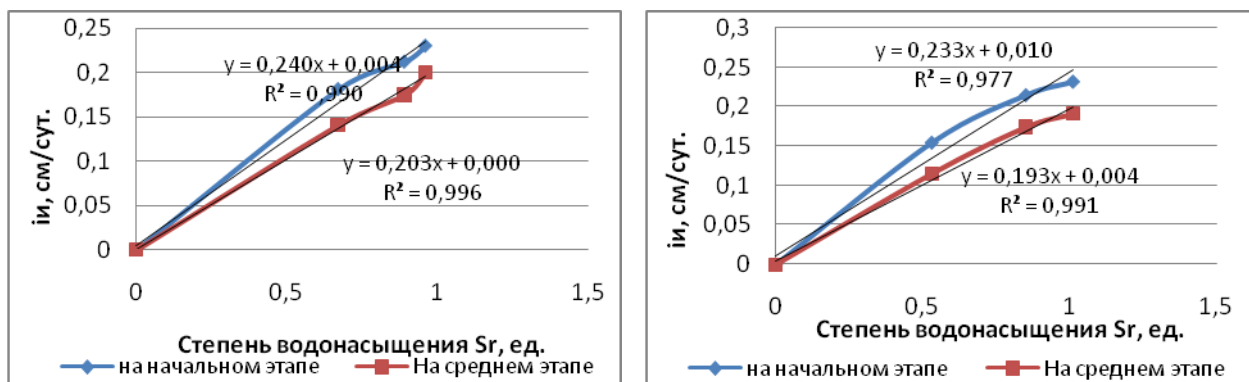


Рис.3. Зависимость интенсивности испарения влаги из модельных материалов на начальном и среднем этапах испарения от степени его водонасыщения:

A1-песок:суглинок=(100:0)%; **A2**-песок:суглинок=(70:30)%;

A3-песок:суглинок=(30:70)%; **A4**-песок:суглинок=(0:100)%)

На основе результатов проведенных опытов установлено:

1. Интенсивность испарения влаги из грунтов (модельных материалов) зависит от начальной степени его водонасыщения (S_r) и закономерно снижается по мере уменьшения их начальной степени водонасыщения.
2. Интенсивность испарения в нестационарных условиях, снижаясь во времени, закономерно уменьшается в ряду песок>песок:суглинок = (70:30)% >песок:суглинок = (30:70)%> суглинок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамаюнов Н.И., Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Механизм переноса влаги при испарении ее из капиллярно-пористых тел. // Исследование процессов обмена энергией и веществом в системе почва-растение-воздух. –Л.: Изд-во «Наука», 1972. –С. 45-50.
2. Королев В.А., Ахромеева Т.П., Федяева Е.А. Закономерности термовлагопереноса в ненасыщенных дисперсных грунтах. // Инженерная геология. -1990. -№3. –С.16-29.
3. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. –М.: Изд-во «Наука», 1967. -584 с.
4. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного плотно. –М.: Транспорт, 1992. -240 с.

УДК 662.74:536.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО
РАЗЛОЖЕНИЯ УГЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫАДЫР
(ПЛАСТ «НАДЕЖНЫЙ»)**

М.А. Набиев, Б.Т. Ермагамбет, Н.У. Нурғалиев

ТОО «Институт химии угля и технологии» (Казахстан, г. Астана)

Метод термогравиметрического анализа может дать полезную информацию для характеристики особенностей термической деструкции угля. При этом, изучение процессов, протекающих в температурном интервале основного разложения органической массы угля (ОМУ), позволяет понять как общие закономерности, так и специфику разложения твердых топлив. Этот температурный интервал используется для расчета кинетических параметров процесса, которые несут важную информацию как о характере структурно-химических превращений, так и о структуре и направлении термодеструкции ОМУ [1/.

Эксперименты по исследованию кинетики термического разложения угля Сарыадырского месторождения (пласт «Надежный») проводили на термогравиметрическом анализаторе «Thermoster Eltra» (Германия). Использовались стандартные тестовые методы для анализа угля согласно ASTM D7582-12 «Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis». Характеристики Сарыадырского угля составили (%): влажность (W_t^f) – 3,03; летучесть (V^{daf}) – 27,96; зольность (A^f) – 46,32.

Для описания исследуемого процесса выбраны следующие показатели: потери масс образцов в различных температурных интервалах; температуры $T_{\max}$, скорости $v_{\max}$, константы скорости $k_{\max}$, соответствующие наибольшей скорости потери массы (т.е. максимумам основного разложения на кривых DTG в точках перегиба); предэкспоненциальный множитель k_0 и энергия активации $E_{\text{акт}}$, относящиеся к стадиям основного термического разложения угля. В силу многообразия и сложности физико-химических превращений данные кинетические параметры описывают не определенные реакции, а суммарные процессы термического разложения ОМУ, поэтому они рассматриваются как «эффективные параметры» формальной кинетики /2/.

Математическую обработку кривых DTG проводили по следующему алгоритму. Кинетические параметры основного термического разложения ОМУ определяли на основе уравнений неизотермической формальной кинетики /2/. В качестве исходного уравнения выбрано уравнение:

$$v = d\alpha/dt = f(\alpha) \cdot k \quad (1)$$

где v – скорость процесса, α – степень превращения ОМУ, $f(\alpha)$ – функция степени превращения.

Согласно уравнению Аррениуса:

$$k = k_0 e^{-E/RT} \quad (2)$$

где k – константы скорости; k_0 – предэкспоненциальный множитель; E – энергия активации; T – абсолютная температура.

Подставляя уравнение (2) в (1) получим:

$$v = d\alpha/dt = f(\alpha) \cdot k_0 e^{-E/RT} \quad (3)$$

Согласно экспериментальным данным /3/, процессы основного термического разложения угля протекают по 1-му порядку, поэтому функция $f(\alpha) = 1 - \alpha$. Тогда при помощи логарифмирования уравнение (3) преобразуется к виду:

$$\ln \left[\frac{1}{1-\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\tau} \right] = \ln k_0 - \frac{E}{RT} \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой линейное уравнение $y = b + a \cdot x$, в котором: $y = \ln \left[\frac{1}{1-\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\tau} \right]$, $b = \ln k_0$, $a = -E$, $x = 1/RT$

Это позволяет уложить экспериментальные точки на прямую, по тангенсу угла наклона которой к оси абсцисс можно вычислить энергию активации процесса, а по отрезку, отсекаемому по оси ординат, – предэкспоненту.

Для получения надежных результатов экспериментальные данные рассчитывают по методу наименьших квадратов, согласно которому коэффициенты a и b равны:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

Среднеквадратичные ошибки определения a и b (а значит и энергия активации и предэкспонента) рассчитывают как:

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2}{(n-2) \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}}, \quad S_b = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 - x_i}{(n-2)} \right) \left(\frac{1}{n} + \frac{x_{cp}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2} \right)} \quad (6)$$

Исходя из (6) определяют энергию активации и предэкспоненту:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{1}{1-\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\tau} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{RT} - n \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{1}{1-\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\tau} \right) \cdot \frac{1}{RT}}{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{RT} \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{RT} \right)^2} \quad (7)$$

$$k_0 = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{1}{1-\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\tau} \right) - a \sum_{i=1}^n \frac{1}{RT}}{n} \right] \quad (8)$$

Для расчета кинетических параметров термической деструкции ОМУ с использованием вышеприведенных уравнений (1-7) нами разработана компьютерная программа на алгоритмическом языке Fortran (с использованием компилятора «Compaq Visual Fortran»), в которой исходными данными являются: массивы значений массы (навесок неразложившегося угля), времени, температуры, а также значения порядковых номеров точек начала и конца стадий разложения на кинетических кривых DTG и количество этих точек.

Термогравиметрический анализ для изучения кинетики термодеструкции Сарыадырского угля проводили в инертной среде азота при разных скоростях нагрева в пределах 3-15 град/мин.

На рисунке 1 представлены кривые DTG Сарыадырского угля в среде азота. При анализе кривых выявлены три стадии основного разложения Сарыадырского угля на дифференциальных кривых DTG, где наблюдаются пики с максимумами скорости потери массы (точки перегиба). Первая стадия с максимумом при температурах $T_{\max}$ в интервале 134-226 °С, связана с испарением воды, выделением кислородсодержащих газов за счет разложения боковых групп макромолекул, (т.к. углерод-кислородные связи наименее стабильны в термическом отношении). Во 2-й стадии наблюдается пик с максимумом при 357-453 °С, который отвечает за возрастание интенсивности группы реакций термосинтеза вследствие повышения реакционной способности веществ нагреваемой ОМУ. На третьей стадии с пиком с максимумом при 462-553° С развиваются реакции термораспада наиболее термостабильных органоминеральных комплексов, к концу данной стадии наблюдается выделение основной массы смолы и газообразных углеводородов, процесс завершается с образованием полукокса.

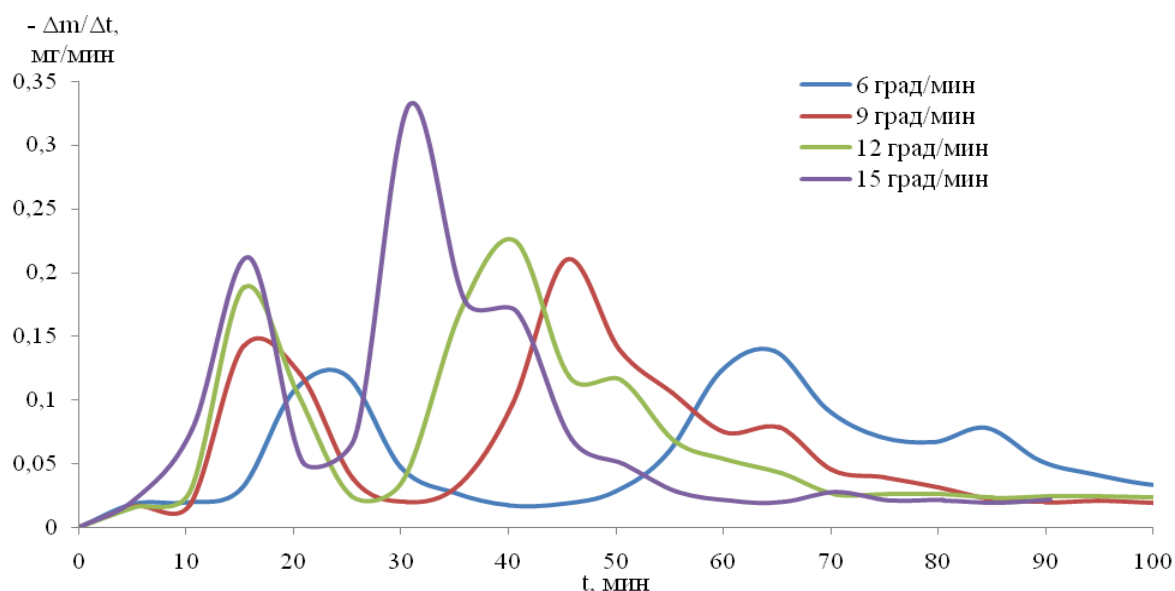


Рис. 1 – Кривые DTG Сарыадырского угля при скоростях нагрева 6-15 град/мин

На 3-й стадии разложения ОМУ при температурах $T_{\max}$ в интервале 462-553 °С пики с максимумом скорости потери массы слабо выражены с тенденцией уменьшения при росте нагрева. Это сопряжено с наложением нескольких процессов и невозможностью их отдельной оценки для проведения расчета кинетических параметров (рисунок 1).

Результаты обработки кривых DTG и расчета по вышеуказанной методике представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Потери масс образцов угля в различных температурных интервалах и значения $T_{\max}$ на стадиях разложения

Скорость нагрева, °С /мин	Потеря массы от навески, %				$T_{\max}$, °С		
	30- 300°С	300- 600°С	600- 900°С	30- 900°С	Стадии разложения		
					1	2	3
3	3,96	15,86	6,78	26,60	134	357	462
6	3,62	14,06	6,48	24,16	178	394	501

9	3,82	14,21	6,18	24,21	201	416	522
12	3,42	14,22	6,55	24,19	218	438	540
15	3,75	13,98	5,88	23,61	226	453	553

Таблица 3 – Кинетические параметры термической деструкции ОМУ

	Стадии основного разложения					
Скорость нагрева, °С /мин	1 стадия			2 стадия		
	$k_{\max},$ 10^{-3} $с^{-1}$	$k_0,$ $10^2 с^{-1}$	$E_{1акт},$ кДж/моль	$k_{\max},$ 10^{-3} $с^{-1}$	$k_0,$ $10^4 с^{-1}$	$E_{2акт},$ кДж/моль
3	1,35	2,72±0,13	43,7±0,92	1,23	1,45±0,03	98,2±3,7
6	1,65	7,42±0,64	46,3±2,76	1,19	1,94±0,12	93,3±2,9
9	1,47	1,89±0,11	40,3±2,61	1,34	0,71±0,03	86,8±3,6
12	1,69	2,78±0,18	44,8±2,23	1,52	0,54±0,06	82,6±3,4
15	1,39	1,65±0,06	38,3±1,75	1,32	0,47±0,02	80,1±4,8

В общем температурном интервале 30-900 °С потери массы ОМУ имеют низкие значения, в силу высокой зольности и низкой летучести угля. Наибольшие потери массы угля в интервале температур 300-600 °С можно связать с выделением основной массы паров смолы и газообразных углеводородов с одновременным образованием паров так называемой пирогенетической воды.

При переходе от одной стадии основного разложения к другой при всех скоростях нагрева отмечается существенное увеличение $E_{акт}$. В пределах одинаковых скоростей нагрева разница между активационными барьерами $E_{1акт}$ и $E_{2акт}$ составляет 38-54 кДж/моль (таблица 3).

Повышение скорости нагрева 3-15 град/мин на всех стадиях разложения ОМУ приводит к сдвигу значений $T_{\max}$ в сторону больших

величин и увеличению скорости $v_{\max}$ (рисунки 1-3). Величина $v_{\max}$ на 2-й стадии выше чем на 1-й (рисунок 3). При этом, аппроксимация точек прямой линией позволяет получить приблизительные зависимости между $v_{\max}$ и β , показанные на рисунке 3 (R^2 – достоверность аппроксимации). Вместе с тем, разница между величинами скоростей ($\Delta v_{\max}$) в точках перегиба на 1-й и 2-й стадиях также растет с повышением скорости нагрева β и взаимосвязь между $\Delta v_{\max}$ и β описывается аналогичной функцией, близкой к линейной ($y = 0,011 \cdot x - 0,026$, $R^2 = 0,967$).

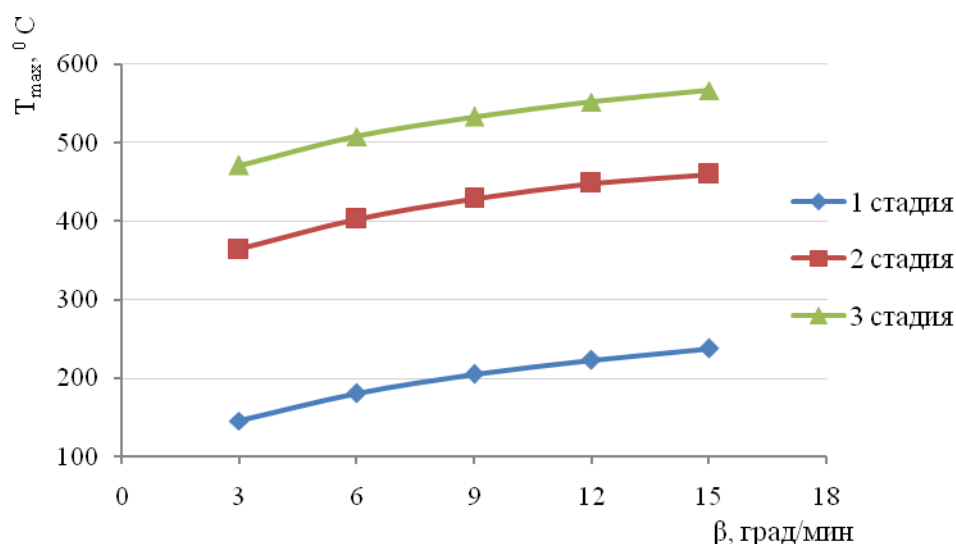


Рис.2 – Зависимость температуры в точках перегиба от скорости нагрева угля на различных стадиях разложения

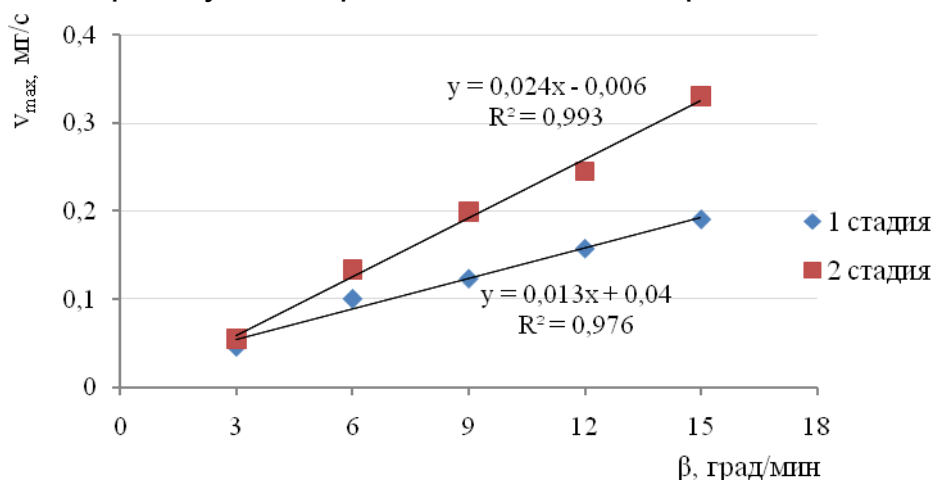


Рис. 3 – Зависимость скорости деструкции в точках перегиба от скорости нагрева угля на различных стадиях разложения

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевкопляс В.Н. Расчет основных кинетических параметров твердых топлив по данным дериватографического анализа // Вопр. химии и хим. технологии. – 2007. – № 2. – С. 179-183.
2. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 556 с.
3. Алексеев А.Д. Физика угля и горных процессов. Киев: Наукова думка, 2010. – 423 с.

УДК 622.775

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ДИФФУЗИИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПСВ УРАНА

Л.Б. Сабирова

Казахский Национальный технический университет
имени К.И.Сатпаева

Прежде чем переходить к обсуждению и моделированию фильтрации растворов в пористой среде продуктивного пласта и вмещающих пород кратко остановимся на модели физического процесса диффузионного растворения металла. Основная расчетная модель этого процесса, полученная нами ранее, сведена к уравнению:

$$t_{\delta} = \frac{d^2 \ln \frac{11,2}{\varepsilon_n \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_n}, \text{ сут}, \quad (1)$$

где t_{δ} – время диффузионного растворения куска руды диаметром d , см; ε_n – проектное значение коэффициента извлечения металла, доли ед.; D_n – коэффициент эффективной диффузии, см²/сут.

Из формулы (1) следует, что время растворения металла зависит прежде всего от размеров d и от D_n .

Понятно, что первая величина d относится к разряду неуправляемых параметров при подземном скважинном выщелачивании металлов.

Вторая величина D_n в принципе также относится к неуправляемому параметру.

Физические модели диффузионного растворения и фильтрационного переноса металлов рассматривались нами ранее для совершенных скважин. Для сложных условий, оцениваемых критериями такие модели отсутствуют, и их следует скорректировать.

Рассмотрим диффузионное растворение металла в реагенте.

В соответствии с законом диффузии Фика запишем модель в виде дифференциального уравнения [1]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right),$$

где $C(x, y, z, t)$ – искомая функция распределения металла в пространстве по времени t ; D_x, D_y, D_z - коэффициенты диффузии по координатам x, y, z .

Для наших исследований интерес представляет одномерный (линейный) закон диффузии, который описывается уравнением:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Следует искать решение (2) в виде функции $C(x, t)$ при следующих граничных условиях:

$$C(x, t) = C_0 \text{ при } 0 < x < 1 \text{ и } t = 0;$$

$$C(x, t) = 0 \text{ при } x = \ell, x = 0, t > 0,$$

где C_0 – исходная концентрация металла, т/см³;

$C(x, t)$ – текущая концентрация металла по оси x за время t ;

ℓ - размер куска руды, см;

t – время диффузии, сут.

Имеется решение такого уравнения [1] в виде бесконечного

ряда:
$$C(x, t) = \frac{4C_0}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2j+1} \operatorname{Csch} \left(\frac{2j+1}{x} \right) \times \exp \left\{ - \left[(2j+1) \frac{\pi}{x} \right]^2 D_{\pi} \cdot t \right\}. \quad (3)$$

Если положить, что в относительных единицах $C_0 = 1$, а $C_{\text{пр}} = 0,75$, т.е. конечное значение диффундирующего металла

(растворения) до 75 %, то можно получить простейшее решение, ограничившись первым членом быстро убывающего ряда (3):

$$\frac{C_{\text{пр}}}{C_o} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{н}} \cdot t}{\ell^2}\right). \quad (4)$$

При заданном $D_{\text{н}} \cong 0,864 \cdot 10^{-3}$ см²/сут. из (4) находим время диффузионного выщелачивания металла:

$$t_{\partial} = \frac{\ell^2 \cdot \ln \frac{8C_o}{C_{\text{пр}} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_{\text{н}}}, \text{ сут}, \quad (5)$$

где ℓ - средний диаметр куса руды, см;

$C_o = 1$ и $C_{\text{пр}} \cong 0,7 \div 0,75$ – относительные единицы содержания металла в руде и извлечения его из руды;

$D_{\text{н}}$ – эффективный коэффициент диффузии, м²/сут, для металлов [1]

$$D_{\text{н}} \cong 0,864 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут}.$$

Анализ формулы (2.5) показывает, что она обладает некоторыми недостатками. Первое - $C_{\text{пр}} \cong 0,7 \div 0,75$, т.е. весьма узкий, хотя и практически правильный диапазон изменения коэффициента извлечения металла. Второе – при увеличении $C_{\text{пр}}$ от 0,7 до 0,75 время t_{∂} будет уменьшаться, что является противоречием.

Исходя из этих замечаний, запишем формулу (5) в виде:

$$t_{\partial} = \frac{\ell^2 \cdot \ln \alpha \frac{8C_o}{C_{\text{пр}} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_{\text{н}}}, \text{ сут}, \quad (6)$$

где α - некоторый параметр, $\ell > 0$, который определяется статистическим путем или экспериментально по схеме.

Для определения α принимаем $C_{\text{пр}} = 0,7$, тогда формулу (6) запишем:

$$t_{\partial} = \frac{\ell^2 \cdot \ln \alpha \cdot 1,159}{\pi^2 \cdot D_{\pi}}. \quad (7)$$

$$\text{Из уравнения (7) имеем: } \ln 1,159 \cdot \alpha = \frac{t_{\partial} \cdot \pi^2 \cdot D_{\pi}}{\ell^2}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) легко определить искомый параметр α из уравнения:

$$\alpha = \frac{1}{1,159} e^{\frac{t_{\partial} \cdot \pi^2 \cdot D_{\pi}}{\ell^2}}. \quad (9)$$

Следовательно, если известно время диффузионного выщелачивания - t_{∂} и размер куска ℓ , то по формуле (9) легко подсчитать параметр α .

Например, для руды месторождения Тохтазан имеем: $\ell = 2$ см, $D_{\pi} = 0,864 \cdot 10^{-3}$ см²/сут, $t_{\partial} = 36$ сут.

$$\alpha = \frac{1}{1,159} \exp\left(\frac{36 \cdot \pi^2 \cdot 0,864}{4 \cdot 10^3}\right) = \frac{1,079}{1,159} = 0,93.$$

Следовательно, для условий руды месторождения Тохтазан имеем уравнение:

$$t_{\partial} = \frac{\ell^2 \cdot \ln 0,93 \cdot \frac{8 \cdot C_o}{C_{\pi} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_{\pi}}, \text{ сут.} \quad (10)$$

Кроме того, величину α можно рассчитать, если известна функция извлечения металла $\varepsilon(t)$ в виде:

$$\varepsilon(t) = 1 - \frac{1}{e^{C_1 t_{\partial}}}, \quad (11)$$

где C_1 – параметр, определяемый статистически.

Пусть имеем для условий месторождения Тохтазан $\varepsilon(t) = 0,65$; $t_{\partial} = 40$ сут.

Из уравнения (11) имеем:

$$0,65 = 1 - \frac{1}{e^{C_1 t_\partial}}, \quad (12)$$

откуда, решая (12) относительно C_1 , получим:

$$e^{C_1 t_\partial} = \frac{1}{1 - 0,65} \quad \text{или} \quad C_1 = \frac{1}{t_\partial} \ln 2,87, \quad C_1 = \frac{1,049}{40} = 0,0262.$$

При этом, уравнение (11) запишется в виде:

$$\varepsilon(t) = 1 - \exp(-0,0262t). \quad (13)$$

Пусть задано $t = 20$ сут, тогда: $\varepsilon(t) = 0,48$, т.е. $\approx 50\%$ за 20 суток.

Рассмотрим более сложную руду месторождения Пустынное, для нее $t_\partial = 340$ сут; $\varepsilon(t) = 0,3$ или 30 %, тогда имеем:

$$C_1 = \frac{1}{340} \ln \frac{1}{1 - 0,3} = 0,00104.$$

Для извлечения металла до $\varepsilon = 0,5$ получим формулу:

$$t_\partial = \frac{\ln \frac{1}{1 - 0,5}}{0,00104} = 666 \text{ суток},$$

т.е. в принципе и сульфидные руды можно выщелачивать, только срок существенно растягивается.

Определим параметр α для руд месторождения Пустынное по формуле (9):

$$\alpha = \frac{1}{1,159} e^{\frac{340 \cdot \pi^2 \cdot 0,864}{6,25 \cdot 10^3}} = 1,37.$$

Тогда формула (6) для определения t_∂ для руд Пустынного будет:

$$t_\partial = \frac{\ell^2 \cdot \ln \frac{11 \cdot C_o}{C_{np} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_n}, \quad \text{сут.} \quad (14)$$

Если теперь отделить фракцию 0,5 см и ниже, то время сократится:

$$t_{\partial} = \frac{0,25 \cdot 2223}{0,864 \cdot \pi^2} = 65 \text{ суток},$$

а при крупности $\ell = 0,6$:

$$t_{\partial} = \frac{0,36 \cdot 2223}{0,864 \cdot \pi^2} = 94 \text{ суток}.$$

Из полученных формул следует сделать выводы.

1. Выведены новые формулы (5), (6) для вычисления времени диффузионного растворения металлов от влияющих факторов: среднего размера куска руды - ℓ , коэффициента диффузии - $D_{\text{п}}$, коэффициента извлечения металла – $C_{\text{пр}}$ при его выщелачивании.

2. Наиболее сильно на время диффузионного выщелачивания - t_{∂} металла влияет размер куска руды, которое пропорционально квадрату линейного размера куска.

Для проектирования технологических систем выщелачивания металлов одним из главных параметров является время диффузионного растворения и извлечения конкретного металла до проектного значения коэффициента извлечения. Диффузионное растворение металлов достаточно теоретически освещено в известной монографии П. Шьюмана [1] и других работах [2, 3]. Однако до сих пор нет достаточно надежных аналитических методов, позволяющих определить время растворения металлов в функции от основных влияющих факторов.

Будем следовать П. Шьюмону [1] и искать расчетные модели для определения времени диффузионного растворения металла для идеальных форм рудного или иного сырья.

Рассмотрим дифференциальное уравнение (2) второго закона Фика при одномерной диффузии в пластине:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (15)$$

где $C(x, t)$ – концентрация вещества C как функция одной координаты – x и времени t ;

D_n – эффективный коэффициент диффузии.

Если принять, что D_n не зависит от времени и от координаты x , то известно решение (15) в виде бесконечного сходящегося ряда:

$$C(x, t) = \frac{4C_0}{\pi} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{2j+1} \operatorname{Csch}\left(\frac{2j+1}{h}\right) \times \exp\left\{-\left[(2j+1)\frac{\pi}{h}\right]^2 D_n \cdot t\right\}, \quad (16)$$

где $\operatorname{Csch}x = \frac{2}{e^x - e^{-x}}$;

C_0 – начальная концентрация металла в пластине – h ;

x – глубина диффузии.

При выщелачивании практически невозможно определить концентрацию полезного компонента – металла на различной глубине куска. Для получения общего количества выщелоченного металла необходимо знать среднюю концентрацию металла $\bar{C}$ в идеальной пластине, толщиной – h . Для этого необходимо взять интеграл от функции (16) по h в виде:

$$\bar{C}(t) = \frac{1}{h} \int_0^h C(x, t) \cdot dx. \quad (17)$$

Подставляя в (17) значение $C(x, t)$ (16) после интегрирования и необходимых преобразований получим новый ряд:

$$\bar{C}(t) = \frac{8C_0}{\pi^2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{1}{(2j+1)^2} \exp\left\{-\left[\frac{(2j+1)\pi}{h}\right]^2 D_n \cdot t\right\}. \quad (18)$$

Рассмотрим функцию ряда - $\bar{C}(t)$ до 3-го члена включительно, тогда получим:

$$\begin{aligned}\bar{C}(t) = & \frac{8C_o}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{h^2}\right) D_n \cdot t + \\ & + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2}{h^2}\right) D_n \cdot t + \\ & + \frac{1}{25} \exp\left(-\frac{25\pi^2}{h^2}\right) D_n \cdot t + \\ & + \frac{1}{49} \exp\left(-\frac{49\pi^2}{h^2}\right) D_n \cdot t + \dots\end{aligned}\quad (19)$$

С погрешностью не более 3% можно из (19) записать уравнение:

$$\bar{C}_{\text{пр}}(t) = \frac{11,2C_o}{\pi^2} \exp \frac{\pi^2 D_n \cdot t}{h^2}. \quad (20)$$

Решая уравнение (20) относительно времени $t_{\text{выщелачивания}}$ до $\bar{C}_{\text{пр}}$, получим:

$$t_{\partial} = \frac{h^2 \cdot \ln \frac{11,2C_o}{\bar{C}_{\text{пр}} \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot D_n}, \text{ сут}, \quad (21)$$

где h измеряется в сантиметрах;

D_n измеряется в $\text{см}^2/\text{сут}$;

C_o и $\bar{C}_{\text{пр}}$ - измеряются в относительных единицах, поэтому $C_o = 1$, а $\bar{C}_{\text{пр}}$ равно проектному коэффициенту извлечения металла из руды, т.е. $\bar{C}_{\text{пр}} = \varepsilon_n$.

Формула (21) является основополагающей для определения времени диффузионного растворения металла при выщелачивании из пластин.

Рассмотрим численный пример.

Пусть дано: $h = 2$ см, $C_{\text{пр}} = 0,7$, $D_n = 0,864 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сут}$. [1], тогда:

$$t_{\partial} = \frac{4 \cdot \ln \frac{11,2 \cdot 1}{0,7 \cdot \pi^2}}{\pi^2 \cdot 0,864 \cdot 10^{-3}} = 227 \text{ суток}.$$

Если, например, крупность кусков породы уменьшить вдвое, т.е. $h = 1$ см, то время сократится в четыре раза и составит $t_{\partial} = 57$ суток, а при $h = 0,5$ см всего 14 суток. Из этого простого примера следует, что

размер куска рудного сырья является главным показателем при диффузионном растворении.

Рассмотрим также решение задачи определения времени диффузионного растворения для шара с радиусом – r , см. В сферической системе координат второй закон Фика имеет вид [1]:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} = 0. \quad (22)$$

Известно решение этого уравнения для малых времен в виде для среднего значения $\bar{C}(r)$:

$$\bar{C} = \frac{1}{r} \int_0^r F(r) \cdot dr = C_o \exp \left[- \left(\frac{t}{r} \right)^{\frac{3}{2}} \right], \quad (23)$$

где
$$r \approx \frac{r_e^2}{2D_{\Pi}} \left(\frac{C_{\Pi\Pi}}{C_o} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (24)$$

Подставляя (24) в уравнение (23) и решая его относительно времени t_{∂} , получим для шара:

$$t_{\partial} = \frac{r_e^2}{2D_{\Pi}} \sqrt[3]{\frac{C_{\Pi\Pi}}{C_o}} \cdot \sqrt[3]{\left(\ln \frac{C_o}{C_{\Pi\Pi}} \right)^2}, \text{ сут.}$$

или иначе

$$t_{\partial} = \frac{r_e^2}{2D_{\Pi}} \left(\frac{C_{\Pi\Pi}}{C_o} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\ln \frac{C_o}{C_{\Pi\Pi}} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (25)$$

Сопоставим теперь численные значения для пластины (21) и шара для только что рассмотренного примера.

По формуле имеем при $\ell = 2$ см, тогда $r = 1$ см:

$$t_{\partial} = \frac{1}{2 \cdot 0,864 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{0,7}{1} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \ln \left(\frac{1}{0,7} \right)^{\frac{2}{3}} = 256 \text{ суток.}$$

При $r = 0,5$ см, $t_{\partial} = 64$ сут; и при $r = 0,2$ см, $t_{\partial} = 16$ суток.

Из приведенных данных следует, что формулы (21) и (24) дают практически одинаковый результат.

Полученные путем теоретического анализа фундаментальные формулы для вычисления времени диффузионного растворения или выщелачивания металлов рекомендуются для практических расчетов при проектировании и управлении технологических систем подземного скважинного выщелачивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шьюман П. Диффузия в твердых телах, М., Наука, 1968, 320с.
2. Рогов Е.И., Язиков В.Г., Рогов А.Е. Математическое моделирование в горном деле. Алматы, Lem., 2002, 204с.
3. Рогов А.Е., Рыспанов Н.Б. Математические основы геотехнологии. Алматы., FORTRESS, 2007, 367с.

УДК 532.546

**РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ОПОЛЗНЕЙ КЫРГЫЗСТАНА ДЛЯ
РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ OST-ТЕХНОЛОГИЙ**

А.К. Орозобекова, Н. М. Муратбеков, Г. И. Бийбосунова

КГУСТА им. Н. Исанова

В силу особенностей горно-геологического и тектонического строения практически вся территория Кыргызской Республики подвержена экзогенным геологическим процессам (далее ЭГП), таким, как оползни, селевые потоки, снежные лавины, обвалы и камнепады.

Наибольшей катастрофичностью проявления среди других экзогенных геологических процессов отличаются оползни. Оползни представляют собой один самых распространенных видов природных катастрофических явлений, которые вызывают колоссальные разрушения на больших территориях, приводят к огромным человеческим жертвам, причиняют большой ущерб экономике и природной среде. Оползни имеют широкое распространение на всей территории Кыргызстана и, особенно, в южных регионах: Ошской, Джалал-Абадской и Баткенской областях.

По Ошской области оползнеопасным районом является Узгенский, где в бассейнах рек Зергер, Ничке, Кульдук, Джалпакташ, Каратырык находится более 300 очагов оползней, и практически все горные склоны в пределах высотных отметок от 1000 до 2000 м.

являются потенциально оползнеопасными. В Алайском районе оползни в основном приурочены к левому склону долины р. Гульча и к правому притоку Джусалы. Оползни в этом районе имеют значительные объемы по сравнению с другими участками и проявляют наибольшую активность. Менее подвержены оползневым процессам Кара-Суйский и Наукатский районы. Оползни здесь приурочены к бассейнам рек Талдык, Ак-Бура и Аравансай в пределах высотных отметок здесь менее значительна, что связана с меньшим выпадением атмосферных осадков.

В Джалал-Абадской области, Сузакский район наиболее интенсивно подвержен оползневой деятельности. Активность оползневых процессов очень высокая. Всего насчитывается более 500 очагов оползней различных объемов и генезиса. Наиболее распространены в бассейнах рек Кугарт и Чангет, а также включая город Кок-Джангак. Массовая пораженность склонов оползневыми процессами объясняется наличием здесь мощных массовых суглинков и большим количеством атмосферных осадков выпадающих в весеннее время.

Изучение оползней и борьба с ними имеют важное народнохозяйственное значение и привлекает внимание большого круга специалистов, как известно, оползнями называют физико-геологические явления, представляющие собой одну из форм смещения земляных масс, слагающих горные склоны, причем смещение происходит в основном под действием силы тяжести. Как правило факторы, которые обуславливают возникновение и развитие оползней, делятся на три большие группы: постоянные, медленно изменяющиеся, быстро изменяющиеся.

К факторам первой группы относятся геологическое строение и рельеф, то есть те факторы, которые на время прогноза считаются неизменными. Факторы этой группы определяют генетические

особенности экзогенных геологических процессов, к которым относятся и оползни, и интенсивность их проявления. Факторы второй группы определяют, как правило, основные тенденции развития оползневых процессов и включают в себя: современную тектонику, климат, гидрологические условия, гидрологию морских берегов, почвы, растительность. В совокупности факторы первой и второй группы составляют основу пространственного прогноза возникновения и развития оползней (глобальные, региональные и локальные прогнозы).

К третьей группе относятся следующие факторы: метеорологические (атмосферные осадки, температура и др.), гидрологические (расходы и уровни вод в реках, озерах и т.п.), сейсмические (землетрясения), хозяйственная деятельность, поверхностный сток, влажность и льдистость горных пород, сезонное промерзание и оттаивание, деформация и прочность горных пород. Данная группа факторов обуславливает и определяет режим активизации оползневых процессов и составляет основу для временного прогноза оползней (сверхдолгосрочные, долгосрочные и краткосрочные прогнозы).

Наиболее важным является вопрос устойчивости оползневых склонов. Подробно исследуются вопросы устойчивости склонов, предлагаются различные методики расчета устойчивости. Естественно, что динамика жидкости влияет на устойчивость грунтовых массивов, приводит к нарушению их равновесного состояния и потере устойчивости. В теории и практике оползневых процессов рассматриваются три возможных случая для основного деформируемого горизонта (ОДГ) или линии скольжения оползней для плоского случая. Большое значение для развития оползневого процесса имеет положение уровня подземных вод по отношению к ОДГ или поверхности скольжения.

На сегодняшний день известно большое количество методов расчета устойчивости склонов, которые учитывают в своих расчетных схемах многообразие типов оползней и используют различные допущения, связанные с формой поверхности скольжения, местоположением областей грунта, находящихся в предельном состоянии, с определением коэффициента устойчивости и т.д. При этом, как правило, расчеты устойчивости ведутся в условиях плоской задачи. Приведем следующие методики расчета устойчивости, которые являются наиболее известными в советской литературе и часто применяемыми в практике исследования и прогнозирования оползневых процессов.

1. Метод круглоцилиндрических поверхностей смещения.
2. Метод прислоненного откоса
3. Метод Ю.И. Соловьева

Как утверждают авторы этих методов, устойчивость склонов во многом определяется условиями их обводнения. Потоки подземных вод оказывают силовое гидродинамическое воздействие и влияют на прочностные показатели пород. Поэтому предлагается методика расчета устойчивости и определения линии скольжения, основанная на гидродинамическом подходе. В самом общем виде постановка задачи заключается в исследованиях фильтрационных и инфильтрационных процессов в горных породах с учетом их сложного геологического строения. Формулируется новая задача: требуется определить устойчивость горных склонов на их возможное оползание, так как потоки подземных вод оказывают силовое гидродинамическое воздействие и влияют на прочностные показатели пород и найти неизвестную линию скольжения оползней. Для этого предлагается следующая схема приложенных сил, на основе которой вычисляется коэффициент запаса устойчивости [7]:

$$K_y = \frac{\sum F_{cd}}{\sum F_{y0}} \quad (1)$$

Следовательно, коэффициент устойчивости K_y определяется как отношение сдвигающих сил F_{cd} к силам удерживающим $F_{уд}$. При этом возможны следующие два случая:

- 1) $K_y > 1$ и тогда оползнеопасный склон будем считать неустойчивым;
- 2) $K_y < 1$ и тогда рассматриваемый оползнеопасный склон считается устойчивым.

Основными сдвигающими силами будем считать такие силы, как собственный вес оползней, обозначим его через G ; гидродинамическое давление жидкости в теле оползня - P . К удерживающим силам отнесем силы внутреннего трения и силы сцепления - сумму этих двух сил обозначим через F_r и будем называть силой сопротивления сдвигу. Тогда коэффициент устойчивости будет определяться как отношение следующих сил:

$$K_y = \frac{(G + P)}{F_r} \quad (2)$$

Собственный вес оползней состоит из двух слагаемых: тангенциального и нормального составляющего, которые можно определить следующим образом:

$$T = G \cdot \sin \alpha; N = G \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

$$F_r = -K_0 \cdot G \cdot \cos \alpha, \quad K_0 = \operatorname{tg} \phi \quad (4)$$

где α - угол наклона склона. Здесь K_0 - коэффициент сдвига, состоит из суммы коэффициента внутреннего трения и коэффициента сцепления. Из соотношения (2) видно, что склон устойчив, если обеспечивается следующее неравенство относительно гидродинамического давления подземных вод:

$$P < F_r - G \quad (5)$$

и в этом случае мы имеем устойчивый объект. В случае же, когда:

$$P > F_r - G \quad (6)$$

тогда теряется устойчивость склонов, а плоскость скольжения оползней представляет собой при этом непроницаемую границу или линию тока.

Далее, предполагаемая линия смещения, как правило, неизвестна, но, задавая условие относительно давления подземных вод вдоль линий тока в исследуемой области, мы можем найти неизвестную границу, вдоль которой нарушается условие устойчивости (как известно, гидродинамическое давление направлено по касательной к линиям тока) и по которой возможно произойдет оползание. Таким образом, не только исследуется динамика подземных вод, как фактор развития и активизации оползневых процессов, но и оценивается устойчивость и вычисляется положение наиболее вероятной плоскости или линии скольжения оползней. Итак, устойчивость горных склонов во многом определяется в зависимости от фильтрационных и инфильтрационных процессов.

Автоматизация позволяет гораздо быстрее выполнять поставленные задачи, какой сферы они бы не касались. Результатом автоматизации является оптимизирование процессов управления, повышения производительности труда, улучшение качества выпускаемой продукции.

Большинство из исследований геологи проводят на месте или в лабораториях на специализированном оборудовании. Но расчет многих характеристик грунтового массива и обработка материалов проведенных инженерно-геологических изысканий по-прежнему происходит вручную или при помощи программного обеспечения, решающего только конкретные задачи. Следовательно, встает вопрос о качественном хранении информации, полученной в результате исследований, ее точной обработке, создании единой системы, позволяющей с высокой точностью проводить необходимые расчеты.

Таким образом, создание системы, включающей в себя базу существующих зон развития склоновых процессов с их координатами, рельефом, инженерно-геологическими элементами, рассчитывающей их характеристики и работающей с ними, является весьма актуальной задачей. Следовательно, актуальность постановки, изучения и решения проблемы целенаправленного использования Internet-технологий исследованиях в целом и Web-дизайна для инженерно-геологических организаций в частности, не вызывает сомнений. Поэтому в данной статье рассматривается создание сетевой АРМ системы для обработки данных инженерно-геологических изысканий и расчета характеристик в зонах развития опасных геологических процессов на РНР технологии.

С целью оценки устойчивости склона необходимо проведение инженерно-геологических изысканий на всей площади потенциально опасного склона и зон, прилегающих к его верхней бровке до предполагаемой границы устойчивости. Для оценки устойчивости береговых склонов необходимо проводить изыскания с охватом их подводных частей, так же следует проводить изыскания в случаях, если территория проектируемого объекта занимает только часть склона [1].

При изысканиях на оползне- и обвало-опасных склонах необходимо устанавливать типы и подтипы склоновых процессов по механизму смещения пород, условия их возникновения и характер проявления, а также выявлять взаимосвязь оползневых деформаций с рельефом, геологическим строением, воздействием подземных вод, геологическими и инженерно-геологическими процессами (эрозия, абразия, выветривание, подтопление, осушение и др.), а также с результатами хозяйственной деятельности (подрезка, пригрузка склонов, изменение уровня подземных вод, уничтожение древесной растительности, динамические нагрузки и т.п.).

В работе разрабатывается эффективная и удобная базы данных работающая на базе данных MySQL с выводом на PHP код.

Так как единая база данных по инженерно-геологическим элементам позволяет пользователю быстро и удобно выбрать необходимый геологический элемент из существующих, получить его характеристики. Реализация такой базы данных необходима с целью упрощения создания новых инженерно-геологических элементов, так как если у одного пользователя по данной территории уже были созданы ИГЭ, то другой пользователь может воспользоваться уже готовыми данными, вместо того, чтобы тратить время на создание нового геологического элемента и ввода его характеристик.

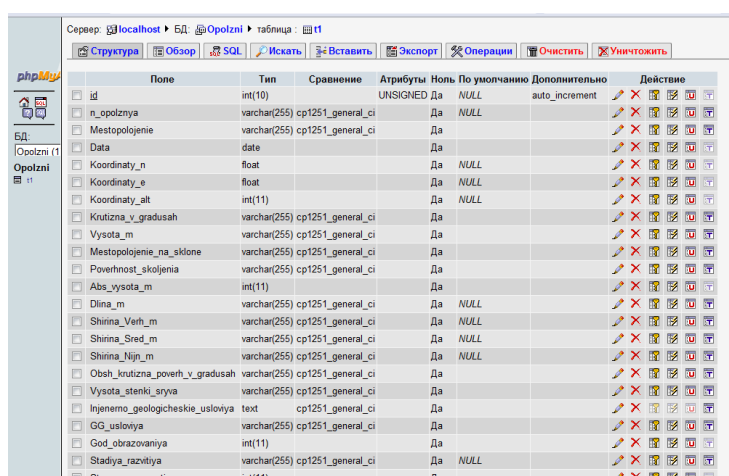
Прежде чем перейти к работе с необходимо создать базу данных, которая необходима для хранения основного контента сайта. База данных создается при помощи все того же пакета «Денвер», который включает в себя средство разработки баз данных MySQL [3]. В форме создания базы данных вводится имя базы, логин пользователя и пароль. База данных создана, в дальнейшем она автоматически будет адаптирована под сайт.

Все демонстрации и практические задания были выполнены в Adobe Dreamweaver CS3) в качестве HTML-редактора, оттуда же бралось описание некоторых приемов построения чертежа. Основной средой для работы служил простейший текстовый редактор Блокнот, код программы писался непосредственно в HTML, CSS и PHP- один из популярных скриптовых языков, используемыми в ASP.NET благодаря своей простоте, скорости выполнения, богатой функциональности, кроссплатформенности и распространению исходных кодов на основе лицензии PHP.

MySQL является решением для малых и средних приложений. Гибкость СУБД MySQL обеспечивается поддержкой большого количества типов таблиц: пользователи могут выбрать как таблицы

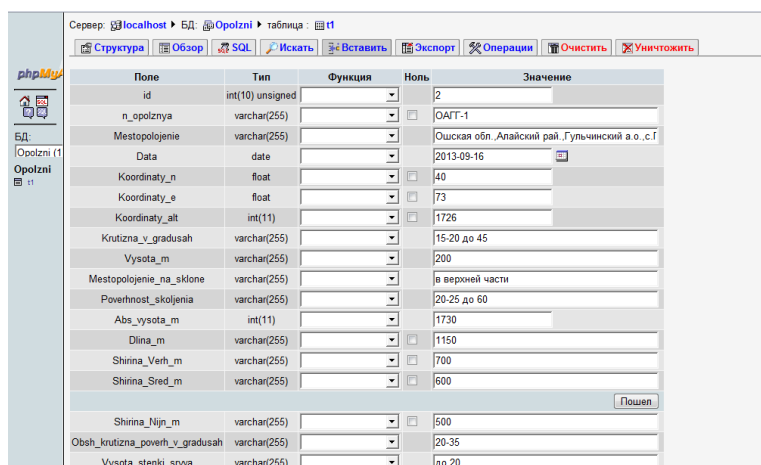
типа MyISAM, поддерживающие полнотекстовый поиск, так и таблицы InnoDB, поддерживающие транзакции на уровне отдельных записей. Более того, СУБД MySQL поставляется со специальным типом таблиц EXAMPLE, демонстрирующим принципы создания новых типов таблиц. Благодаря открытой архитектуре и GPL-лицензированию, в СУБД MySQL постоянно появляются новые типы таблиц [4].

В phpMyAdmin была создано 2 таблицы (t1 и t2), которые содержат данные об оползневых процессах. Сразу после раздела <head> идет объявление использования php и в нем объявление.



Поле	Тип	Сравнение	Атрибуты	Ноль	По умолчанию	Дополнительно	Действие
id	int(10)		UNSIGNED	Да	NULL	auto_increment	
n_opolznaya	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да	NULL		
Mestopolojenie	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да			
Data	date			Да			
Koordinaty_n	float			Да	NULL		
Koordinaty_e	float			Да	NULL		
Koordinaty_ait	int(11)			Да	NULL		
Krutizna_v_gradusah	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да			
Vysota_m	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да			
Mestopolojenie_na_sklone	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да			
Poverhnost_skoljenia	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да			
Abs_vysota_m	int(11)			Да			
Dlina_m	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да	NULL		
Shirina_Verh_m	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да	NULL		
Shirina_Sred_m	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да	NULL		
Shirina_Nijn_m	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да	NULL		
Obsh_krutizna_poverh_v_gradusah	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да			
Vysota_stenki_sryva	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да			
Injenerno_geologicheskie_usloviya	text	cp1251_general_ci		Да			
GG_usloviya	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да			
God_obrazovaniya	int(11)			Да			
Stadiya_razvitiya	varchar(255)	cp1251_general_ci		Да	NULL		
Stepen_opasnosti	int(11)			Да			

Рис. 1. Структура таблицы.



Поле	Тип	Функция	Ноль	Значение
id	int(10) unsigned		☐	2
n_opolznaya	varchar(255)		☐	ОАГТ-1
Mestopolojenie	varchar(255)		☐	Ошская обл., Анайский рай., Гультяинский а. о. с. т.
Data	date		☐	2013-09-16
Koordinaty_n	float		☐	40
Koordinaty_e	float		☐	73
Koordinaty_ait	int(11)		☐	1726
Krutizna_v_gradusah	varchar(255)		☐	15-20 до 45
Vysota_m	varchar(255)		☐	200
Mestopolojenie_na_sklone	varchar(255)		☐	в верхней части
Poverhnost_skoljenia	varchar(255)		☐	20-25 до 60
Abs_vysota_m	int(11)		☐	1730
Dlina_m	varchar(255)		☐	1150
Shirina_Verh_m	varchar(255)		☐	700
Shirina_Sred_m	varchar(255)		☐	600
Shirina_Nijn_m	varchar(255)		☐	500
Obsh_krutizna_poverh_v_gradusah	varchar(255)		☐	20-35
Vysota_stenki_sryva	varchar(255)		☐	до 20

Рис 2. Заполнение таблицы.

Данный рисунок 2 является базой данных с выводом на страницу сайта для отображения данных об оползнях и его параметрах.

Сервер: localhost ► БД: Opolzni ► таблица: t1

Показывает записи 0 - 9 (10 всего, Запрос занял 0.0005 сек)

SQL-запрос:
 SELECT *
 FROM 't1'
 LIMIT 0, 30

[Правка] [Описать SQL] [Создать PHP-код] [Обновить]

Показать 30 рядов от 0

в вертикальном режиме, заголовки после каждых 100 ячеек

Сортировать по ключу: Нет

	1	2	3	4	5	6	7	8
id		2	3	4	5	6	7	8
n_opolznya		ОАГТ-1 Ошская обл., Алайский рай., Гульчинский а.о., с. Гульча, Северо-восточная часть с. Гульча, Правый борт р. Гульча	АГТМ-2 Ошская обл., Алайский рай., Гульчинский а.о., с. Гульча, Южнее от моста в с. Гульча, Левый борт р. Гульча	ОАГЧ-3 Ошская обл., Алайский рай., Гульчинский а.о., с. Чакмак, Правый борт р. Гульча	ОАЛМ-4 Ошская обл., Алайский рай., Ленинский а.о., с. Мурдаш, Правый борт р. Мурдаш, Жарык-Таш	ОАЛМ-5 Ошская обл., Алайский рай., Ленинский а.о., с. Мурдаш, Правый борт р. Мурдаш, Жаман-Ой	ОАЛМ-6 Ошская обл., Алайский рай., Ленинский а.о., с. Мурдаш, Левый борт р. Мурдаш, Тоголок-Добо	ОАЛМ-7 Ошская обл., Алайский рай., Ленинский а.о., с. Мурдаш, Правый борт р. Мурдаш, Кен-Жылга
Data		2013-09-16	2013-09-16	2013-09-16	2013-09-17	2013-09-17	2013-09-17	2013-09-17
Koordinaty_n		40	40	40	40	40	40	40
Koordinatv_e		73	73	73	73	73	73	73

Рис.3 Результат таблицы

Код данного сайта целиком и полностью написан в html с использованием php в редакторе Adobe Dreamweaver CS3. Описание сайта начнем с главной страницы.

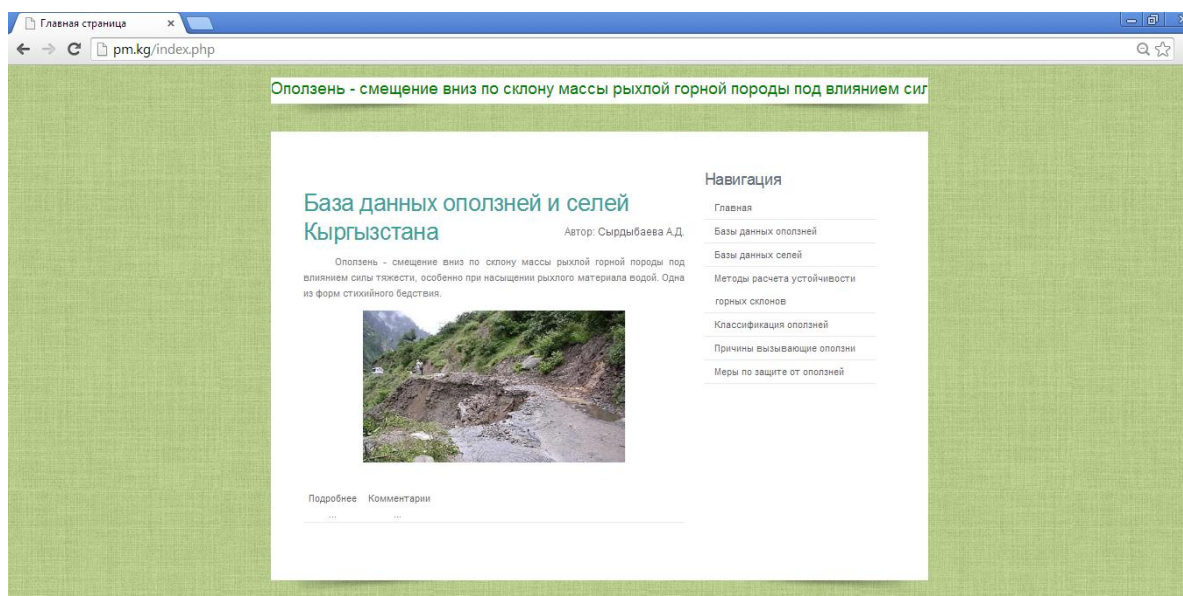


Рис.4. Главная страница сайта

На главной странице располагается текст, являющийся гиперссылкой – это является меню сайта. При нажатии на этот текст, пользователь переходит на следующую страницу (рис.5)

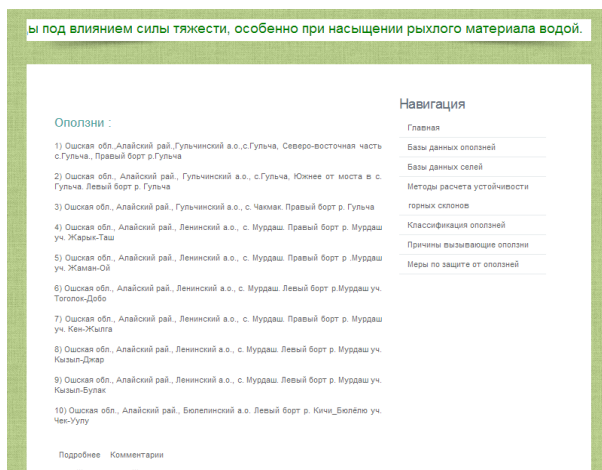


Рис 5. Раздел «Базы данных оползней».



Рис 6. Данные об оползнях раздела «Базы данных

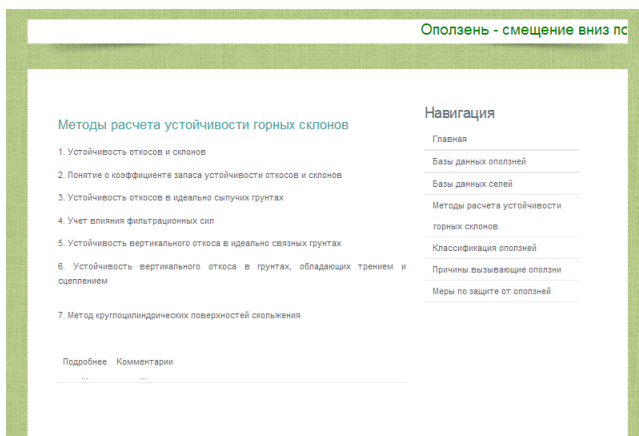


Рис 7. Раздел «Методы расчета устойчивости горных склонов».

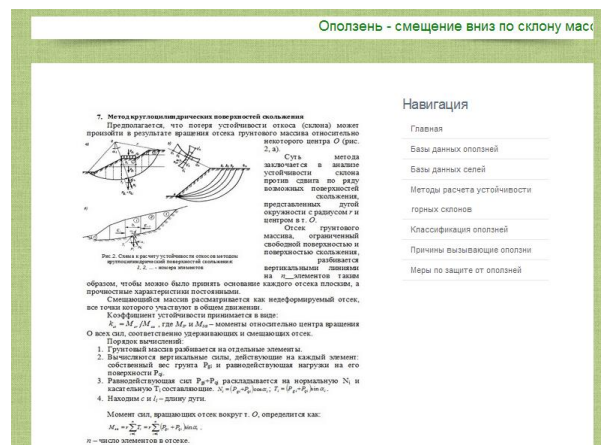


Рис 8. Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Создана оптимальная технология создания системы для обработки данных инженерно-геологических изысканий и расчета характеристик в зонах развития опасных геологических процессов, расчеты устойчивости горных склонов через автоматизацию на PHP, которая полностью включает в себя все эффекты, достижимые с помощью специализированных пакетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голицына, О.Л. База данных: Учебное пособие / О.Л. Голицына, Н.В. Максимов, И.И. Попов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2003. – 352 с.

2. Бенкен Е.С. PHP, MySQL, XML: программирование для Интернета. – С. Пб.:BNV, 2008. –570 с.
3. Харрис Э. PHP/MySQL для начинающих. – С. Пб.:Издательство «КУДИЦ-Образ», 2005. –384 с.
4. Конверс Т.А. PHP 5 и MySQL. Разработка и внедрение. Библия пользователя. – М.: «Вильямс», 2006. –1216 с.
5. Щелкачев В.Н. Подземная гидравлика [Текст] / В.Н. Щелкачев. - М.: Гостехиздат, 1949. –С.524.
6. Абуталиев Ф.Б. Методы математического моделирования гидродинамических процессов [Текст] / Ф.Б. Абуталиев, Н. Н. Ходжибаев, У. Умаров, И.И. Измаилов. - М.: “Недра”, 1972. –С.64.
7. Бийбосунов А.И., Орозобекова А.К., Ташиев А.А. «Аналитические методы решения коэффициента устойчивости горных склонов», Сборник «Современные проблемы механики сплошных сред/ Гидрогазодинамика и экзогенно-геологические процессы природы» вып.6, Бишкек, 2007 г.

УДК 622.775

**КОНЕЧНЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ
ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОЦЕССА САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ
ПЛАСТОВЫХ ВОД**

Л.Б.Сабилова

Казахский Национальный технический университет
имени К.И.Сатпаева

В наших работах по надежности восстановления пластовых вод после ПСВ урана и других элементов были изучены и получены результаты по главным параметрам, заражающих пластовые воды при серно-кислотном подземном выщелачивании урана.

Это, прежде всего, сульфат нитрат ионы, сумма солей, содержание растворенного урана в пластовых водах и кислотность остаточных растворов.

В общем случае следует проверять любой инновационный способ протяжки зараженных пластовых вод по более широкому спектру вредных элементов в техногенных пластовых водах. Для этой цели нами изложены в настоящей статье результаты экспериментальных работ более широкого масштаба, которые проведены совместно с канд.тех.наук В.Л. Забазновым.

Результаты обработки статистической информации по многим блокам ПСВ урана о восстановлении пластовых вод естественным образом (самозалечивание) и при самом эффективном способе –

протяжки их через пустые породы и путем разрушения закачных зон в поровом пространстве продуктивных пластах после их отработки.

Уран U^{+6} ; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} U^{+6} = 22 \cdot e^{-0,38t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ U^{+6} = 28 \cdot e^{-6,33t}, \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} (1)$$

Хром Cr^{3+} ; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} Cr^{3+} = 6,6 \cdot e^{-0,262t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ Cr^{3+} = 7,6 \cdot e^{-4,37t}, \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} (2)$$

Сумма солей y в пластовых водах: Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} y = 28,6 \cdot e^{-0,21t}, \text{ г/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ y = 31 \cdot e^{-0,26t}, \text{ г/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} (3)$$

Сульфат ионы; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} y = 17500 \cdot e^{-0,28t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ y = 20890 \cdot e^{-4,65t}, \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} (4)$$

Нитрат ионы; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} y = 721 \cdot e^{-0,22t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ y = 850 \cdot e^{-0,22t} \text{ мг/л при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} (5)$$

Кислотность пластовых вод; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} pH = 1,9 + 0,38t, \text{ где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ pH = 1,2 + 6,8t, \text{ при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} (6)$$

Марганец Mn^{2+} ; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} Mn^{2+} = 286 \cdot e^{-0,52t}, \text{ мг/л; где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ Mn^{2+} = 404 \cdot e^{-8,66t}, \text{ при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} \quad (7)$$

Кобальт Co^{2+} ; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} Co^{2+} = 3,26 \cdot e^{-0,117t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ Co^{2+} = 3,52 \cdot e^{-0,95t} \text{ мг/л при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} \quad (8)$$

Ванадий V^{+5} ; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} V^{+5} = 47,8 \cdot e^{-0,43t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ V^{+5} = 63,5 \cdot e^{-7,15t} \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} \quad (9)$$

Хром Cr^{4+} ; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} Cr^{4+} = 24,6 \cdot e^{-0,157t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ Cr^{4+} = 27,2 \cdot e^{-2,61t}, \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} \quad (10)$$

Ртуть Hq^{2+} ; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} Hq^{2+} = 10,8 \cdot e^{-10,4t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ Hq^{2+} = 16,4 \cdot e^{-10,4t}, \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} \quad (11)$$

Свинец Pb^{2+} ; Естественное восстановление:

$$\left. \begin{array}{l} Pb^{2+} = 2,3 \cdot e^{-0,37t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.} \\ \text{Способ протяжки:} \\ Pb^{2+} = 3,1 \cdot e^{-6,27t}, \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год.} \end{array} \right\} \quad (12)$$

Аллюминий Al^{3+} ; Естественное восстановление:

$$Al^{3+} = 1650 \cdot e^{-0,55t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.}$$

Способ протяжки:

$$Al^{3+} = 2375 \cdot e^{-9,16t}, \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год}$$

(13)

Железо Fe (общее); Естественное восстановление:

$$Fe = 1948 \cdot e^{-0,617t}, \text{ мг/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.}$$

Способ протяжки:

$$Fe = 2960 \cdot e^{-10,3t}, \text{ мг/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год}$$

(14)

Радиоактивность Ra 226; Естественное восстановление:

$$Ra\ 226 = 6,9 \cdot 10^{-10} \cdot e^{-0,32t}, \text{ ки/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.}$$

Способ протяжки:

$$Ra\ 226 = 8,54 \cdot 10^{-10} \cdot e^{-5,36t}, \text{ ки/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год}$$

(15)

Телур Th 230; Естественное восстановление:

$$Th\ 230 = 5,63 \cdot 10^{-8} \cdot e^{-0,63t}, \text{ ки/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.}$$

Способ протяжки:

$$Th\ 230 = 8,62 \cdot 10^{-8} \cdot e^{-10,55t}, \text{ ки/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год}$$

(16)

Полоний Po 210; Естественное восстановление:

$$Po\ 210 = 6,57 \cdot 10^{-9} \cdot e^{-0,273t}, \text{ ки/л, где } 1 \leq t \leq 16 \text{ лет.}$$

Способ протяжки:

$$Po\ 210 = 7,88 \cdot 10^{-9} \cdot e^{-4,55t}, \text{ ки/л, при } 0,1 \leq t \leq 1 \text{ год}$$

(17)

Выводы

1. Установлены закономерности и даны конечные аналитические формулы от времени – t для естественного процесса самовосстановления пластовых вод после ПСВ урана для:

- сульфат-ионов;
- нитрат-ионов;
- суммы солей;
- остаточного содержания урана в растворе пластовых вод

и т.д. всего по 17 вредностям.

2. Аналогичные формулы установлены для 17 вредностей зараженных пластовых вод после применения самого эффективного способа их восстановления – протяжки через пустые породы в течение 1 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Забазнов В.Л., Язиков В.Г., Петров Н.Н., Рогов Е.И., Рогов А.Е. Геотехнология урана на месторождениях Казахстана, Алматы, ТОО «ЭВЕРОН», 2001, 442 с.
2. Рогов Е.И., Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Рогов А.Е. Геотехнология металлов. Алматы, FORTRESS, 2005, 391с.
3. Rogov A.Y., 4; Rogov Y.I., Yazikov V.G. Technological wells schemes and location parameters optimization for uranium geotechnology.; Mine and Equipment Selection 2000. (Edited by G.N. Panadioton and T.N. Michalakopoulos National University of Athens, Greece), A. A. Balkema / Rotterdam / Brookfield / , 2000. P.157-160.

УДК-519.622(575.2)(04)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ МЕТОДОМ НЬЮТОНА

А.М.Осмонканов, Э.Т.Тургуналиев, К.Т.Карыбалиева

КГУСТА им. Н. Исанова

Как известно, решение нелинейных (алгебраических, дифференциальных, интегральных и т.п.) уравнений является сложной задачей и метод Ньютона является в настоящее время одним из наиболее употребительных методов для решения нелинейных уравнений. Главным его достоинством является очень быстрая сходимость последовательных приближений к точному решению и эффективен только при достаточной близости начального приближения к решению системы.

Ньютоном был предложен эффективный метод нахождения корня алгебраического уравнения

$$f(x) = 0$$

Пусть начальное приближение x_0 известно. Заменим $f(x)$ отрезком ряда Тейлора $f(x) \simeq T_1(x) = f(x_0) + (x - x_0)f'(x)$

и за следующее приближение x_1 возьмем корень уравнения $T_1(x) = 0$, т.е.

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$$

вообще, если итерация x_k известна, то следующее приближение x_{k+1} в методе Ньютона определяется по правилу

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)}, \quad k=0,1,\dots$$

В последствии метод Ньютона был перенесен на систему алгебраических уравнений, а затем обобщен Л.В. Канторовичем на функциональные уравнения в банаховых пространствах.

Пусть имеется оператор $P: X \rightarrow Y$, где X, Y - банаховы пространства. Предположим, что $\Omega \subset X$ открытое множество и в нем имеется нуль оператора P , т.е. такой элемент x^* , что

$$P(x^*) = 0$$

Возьмем произвольный элемент $x_0 \in \Omega$. Предполагая, что оператор P имеет в Ω непрерывную производную (производную Фреше), можно заменить элемент $P(x_0) = P(x_0) - P(x^*)$ близким ему выражением

$$P(x_0) - P(x^*) \simeq P'(x_0)(x - x_0)$$

Написанное уравнение –линейное, и его решением будет

$$x_1 = x_0 - [P'(x_0)]^{-1}P(x_0)$$

Продолжая этот процесс, мы получим, находя из x_0 – начального приближения, - последовательность $\{x_n\}$

$$x_{n+1} = x_n - [P'(x_n)]^{-1}P(x_n) \quad (n=0,1,2,..) \quad (1)$$

Если последовательность $\{x_n\}$ сходится к корню x^* и x_0 выбрано достаточно близко к x^* , то по непрерывности оператора P' операторы $P'(x_n)$ и $P'(x_0)$ будут мало отличаться. Это дает основание ввести в место формул (1) упрощенные

$$x_{n+1} = x_n - (P'(x_0))^{-1}P(x_n) \quad (n=0,1,2,..) \quad (2)$$

Способ образования последовательности $\{x_n\}$ по формулам (2) называется модифицированным методом Ньютона-Канторовича. Формулы (2) хотя дают, вообще говоря, худшие приближения, но значительно проще формул (1).

Рассмотрим вопрос о применении метода Ньютона к дифференциальным уравнениям. Пусть дано дифференциальное уравнение

$$y'(x) = f(x, y, (x))$$

$$y(0) = 0$$

Предположим что функция $f(x, y)$ непрерывно и имеет непрерывную производную по y .

Рассмотрим оператор

$$u = P(y), u(x) = y' - f(x, y(x))$$

Тогда

$$P'(z)(y)(x) = y'(x) - f'_y(x, z(x))y(x) \quad (3)$$

В самом деле,

$$\begin{aligned} P'(z)(y)(x) &= \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{P(z(x) + \tau y(x)) - P(z(x))}{\tau} \\ &= \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{[z(x) + \tau y(x)]' - (z(x))'}{\tau} - \\ &\quad - \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{f(x, z(x) + \tau y(x)) - f(x, z(x))}{\tau} = y'(x) - f'_y(x, z(x))y(x). \end{aligned}$$

Найдем $\Gamma = (P'(y_0))^{-1}$. Вследствие (3) элемент $y = \Gamma(u)$ есть решение дифференциального уравнения

$$y'(x) = f'_y(x, y_0(x))y(x) + u(x) \quad (4)$$

а уравнение (4)- линейное неоднородное дифференциальное уравнение и решение его легко находится.

Рассмотрим следующую задачу Коши

$$y' = x^2 + y^2$$

$$y(0) = 0$$

В данном случае оператору $u = P(y)$ определяется формулой

$$u(x) = y'(x) - x^2 - y^2$$

$$P'(y_0)\varepsilon(x) \equiv \varepsilon' - 2\varepsilon(x)$$

Выражение $P'(y_0)(y)(x)$ нужно понимать как производная оператора P в точке $y_0(x)$ по “направлению” $y(x)$.

Уравнение (4) имеет вид

$$\varepsilon'(x) = 2y_0(x)\varepsilon(x) + u(x).$$

Для последовательных приближений получим уравнение

$$y_{n+1} = y_n - (P'(y_0))^{-1}P(y_n) \quad \text{обозначив } \varepsilon_n = (P'(y_0))^{-1}P(y_n)$$

получим

$$P'(y_0)\varepsilon_n = -P(y_n) \text{ т.е.}$$

$$\varepsilon'_n - 2y_0\varepsilon_n = -y'_n + x^2 + y_n^2(5)$$

Исходя из условия задачи, в качестве нулевого приближения $y_0(x)$ возьмем $y_0(x) = 0$. Тогда

$$\varepsilon'_0(x) = x^2 \text{ и } \varepsilon_0(x) = \frac{x^3}{3}$$

отсюда

$$y_1(x) = y_0(x) + \varepsilon_0(x) = \frac{x^3}{3}$$

$$\varepsilon'_1(x) = -\left(\frac{x^3}{3}\right)' + x^2 + y_1^2 = \left(\frac{x^3}{3}\right)^2 = \frac{x^6}{3^2}$$

$$\varepsilon_1(x) = \frac{x^7}{7 * 9}$$

$$y_2(x) = y_1(x) + \varepsilon_1(x) = \frac{x^3}{3} + \frac{x^7}{7 * 9}$$

$$\varepsilon'_2(x) = -\left(\frac{x^3}{3} + \frac{x^7}{7 * 9}\right)' + x^2 + \left(\frac{x^3}{3} + \frac{x^7}{7 * 9}\right)^2 = 2 * \frac{x^{10}}{3^3 * 7} + \frac{x^{14}}{7^2 * 3^4}$$

Откуда
$$\varepsilon_2(x) = \frac{2 * x^{11}}{3^3 * 7 * 11} + \frac{x^{15}}{5 * 7^2 * 3^5}$$

$$y_3(x) = y_2(x) + \varepsilon_2(x) = \frac{x^3}{3} + \frac{x^7}{7 * 9} + \frac{2 * x^{11}}{3^3 * 7 * 11} + \frac{x^{15}}{5 * 7^2 * 3^5}$$

$$\varepsilon'_3(x) = -\left(\frac{x^3}{3} + \frac{x^7}{7 * 9} + \frac{2 * x^{11}}{3^3 * 7 * 11} + \frac{x^{15}}{5 * 7^2 * 3^5}\right)' +$$

$$\begin{aligned}
& +x^2 + \left(\frac{x^3}{3} + \frac{x^7}{7 * 9} + \frac{2 * x^{11}}{3^3 * 7 * 11} + \frac{x^{15}}{5 * 7^2 * 3^5} \right)^2 = \\
& = -x^2 - \frac{x^6}{9} - \frac{2 * x^{10}}{3^3 * 7} - \frac{x^{14}}{7^2 * 3^4} + x^2 + \frac{x^6}{6} + \\
& + \frac{x^{14}}{7^2 * 3^4} + \frac{4 * x^{22}}{3^6 * 7^2 * 11^2} + \frac{x^{30}}{5^2 * 7^4 * 3^{10}} + \frac{2 * x^{10}}{7 * 3^3} + \\
& + \frac{4 * x^{14}}{3^4 * 7 * 11} + \frac{2x^{18}}{5 * 7^2 * 3^6} + \frac{4x^{18}}{3^6 * 7^2 * 11} + \frac{2 * x^{22}}{7^3 * 3^7 * 5} + \\
& + \frac{4x^{26}}{7^3 * 5 * 3^8 * 11} = \frac{4 * x^{14}}{3^4 * 7 * 11} + 2 \left(\frac{1}{5 * 7^2 * 3^6} + \frac{2}{3^5 * 7^2 * 11} \right) x^{18} + \\
& + 2 \left(\frac{1}{7^3 * 3^7 * 5} + \frac{2}{3^6 * 7^2 * 11^2} \right) x^{22} + \frac{4x^{26}}{7^3 * 5 * 3^8 * 11} + \frac{x^{30}}{5^2 * 7^4 * 3^{10}}
\end{aligned}$$

Откуда

$$\begin{aligned}
\varepsilon_3(x) &= \frac{4 * x^{15}}{3^4 * 7 * 11 * 15} + 2 \left(\frac{1}{5 * 7^2 * 3^6} + \frac{2}{3^5 * 7^2 * 11} \right) * \frac{x^{19}}{19} + \\
& + 2 \left(\frac{1}{7^3 * 3^7 * 5} + \frac{2}{3^6 * 7^2 * 11^2} \right) \frac{x^{23}}{23} + \frac{4x^{27}}{7^3 * 5 * 3^8 * 11 * 27} + \frac{x^{31}}{5^2 * 7^4 * 3^{10} * 31}
\end{aligned}$$

Отсюда видим, что уже третья итерация дает достаточно хорошее приближенное решение на конечном отрезке.

Интересно сравнить метод Ньютона методом последовательных приближений.

Метод последовательных приближений состоит в том, что решение $y(x)$ получают как предел последовательности функций $y_n(x)$, которые находятся по рекуррентной формуле.

$$y^n(x) = y_0 + \int_{x_0}^x f(x, y_{n-1}(x)) dx$$

Тогда для нашего уравнения находим

$$y_1(x) = \int_0^x (x^2 + y_0^2) dx = \int_0^x x^2 dx = \frac{x^3}{3}$$

Аналогично получаем второе и третье приближения

$$y_2(x) = \int_0^x (x^2 + y_1^2) dx = \int_0^x \left(x^2 + \frac{x^6}{3^2} \right) dx = \frac{x^3}{3} + \frac{x^7}{3^2 * 7}$$

$$y_3(x) = \int_0^x (x^2 + y_2^2) dx = \int_0^x \left(x^2 + \frac{x^6}{3^2} + \frac{2 * x^{10}}{3^3 * 7} + \frac{x^{14}}{3^4 * 7^2} \right) dx =$$

$$= \frac{x^3}{3} + \frac{x^7}{7 * 3^2} + \frac{2 * x^{11}}{3^3 * 7 * 11} + \frac{x^{15}}{3^4 * 7^2 * 15}$$

Мы видим, что в данном случае метод Ньютона и метод последовательных приближений дают одни и те же приближенные решения. Оценим теперь погрешность приближения. Известно, что если $f(x, y)$ непрерывна в прямоугольнике $G = \{(x, y): |x - x_0| \leq a, |y - y_0| \leq b\}$,

Удовлетворяем условию Липшица по

$$y: |f(x, y_1) - f(x, y_2)| \leq N|y_1 - y_2|$$

то независимо от выбора начального приближения $y_0(x)$, последовательность функций $y_n(x)$, сходящаяся на некотором отрезке $[x_0, x_0 + h]$ к решению задачи и оценки погрешности приближенного решения дается неравенством

$$\varepsilon_n = |y(x) - y_n(x)| \leq M * N^n \frac{(x - x_0)^{n+1}}{(n+1)!},$$

$$\text{где: } M = \max_{(x, y) \in G} |f(x, y)|, h = \min \left(a, \frac{b}{M} \right).$$

Для нашей задачи $f(x, y) = x^2 + y^2$ определена и непрерывна во всей плоскости, то в качестве a и b можно взять любые числа. Возьмем для определенности $a = 1, b = 1$. Тогда будем иметь

$$M = \max|f(x, y)| = \max(x^2 + y^2) = 2$$

$$N = \max|f'_y| = \max(2y) = 2$$

$$\text{Тогда } h = \min\left(2, \frac{1}{2}\right) = 0,5$$

Таким образом, на отрезке $[0, 0,5]$ получаем

$$|y(x) - y_3(x)| \leq 2 * 2^3 * \frac{(0,5)^4}{4!} = \frac{16}{96} * 0,0625 \approx 0,004025$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ. Наука, М., 1977; 744 с.
2. Лизоркин П.И. Курс дифференциальных и интегральных уравнений. Наука, М., 1981, 384 с.

УДК 622.274., 622.33

ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖЕРУЙ

К.Т.Тажибаев, Ч.К.Сулайманов, Д.К. Тажибаев

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Золоторудное месторождение Джеруй расположено на территории Таласского района Таласской области в приосевой части северного склона Таласского хребта на абсолютных высотах 3100-3700 м. Связь с областным центром г. Талас осуществляется по автодороге через близлежащее к месторождению село Кара-Ой протяженностью 60 км. Связь с г. Бишкек осуществляется через перевал Отмек с выходом на автомагистраль Бишкек-Ош (320 км).

Площадь месторождения Джеруй сложена в основном изверженными породами (60-70% площади) такими как диориты, амфиболиты, граниты и гранодиориты. Осадочно-вулканогенно-метаморфические породы (туфы, алевролиты, порфириты и др.) занимают 20% площади месторождения.

Рудные проявления месторождения Джеруй представлены зонами линз, гнезд, жил и тонких прожилков золотоносного кварца, а также метасоматически окварцеванных пород у контактов этих образований и в их промежутках. В рудной зоне интенсивность развития рудных образований не везде одинаково, в связи с чем выделены четыре участка наибольшей концентрации оруденения: Северо-восточный, Юго-восточный, центральный и Северо-Западный

которые первоначально на планах были оконтурены как штокверки.

Запасы золота месторождения Джеруй были утверждены ГКЗ Кыргызской Республики 6 апреля 2004 года протоколом №90. Общее количество утвержденных ГКЗ КР запасов золота по месторождению – 97,076 тонн. Ниже в таблице 1 приводятся запасы руды и золота месторождения Джеруй по категориям /1/.

Таблица 1- Сводные данные по запасам месторождения Джеруй

Категория запасов	Руда, тыс.тонн	Содержание золота, г/т	Золото, кг
C ₁	10872453	6,91	75141
C ₂	632272	9,13	57774
з/б	5285163	3,06	16161
		итого	97076

Горно-геологические и горно-технические условия месторождения Джеруй позволяют отработать месторождение комбинированным способом. Верхнюю часть месторождения с более богатой рудной зоной можно отработать открытым способом, а нижнюю часть месторождения отработать подземным способом (рис.1).

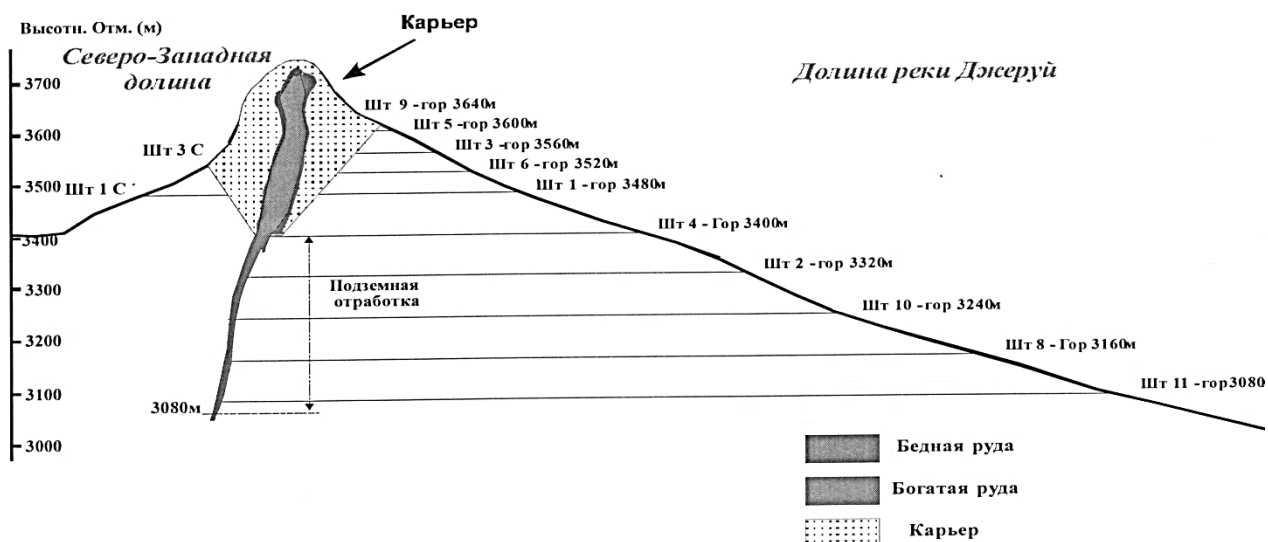


Рис. 1. Схематический разрез месторождения Джеруй

Ниже в таблице 2 приводятся показатели горно-технических условий месторождения Джеруй.

Таблица 2. Показатели горно-технических условий месторождения Джеруй

Наименование показателей	Ед. изм.	Показатели
Коэффициент крепости по профессору Протодяконова: по руде по вмещающей породе		9÷17 8÷10
Объемный вес руды	т/м³	2,65
Коэффициент разрыхления		1,54
Слëживаемость руды		Не слëживаемая
Средняя мощность рудного тела	м	50
Угол падения рудного тела	град.	55°÷70°
Ценность руды		Ценная
Рельеф местности		Горно-равнинный
Глубина залегания от поверхности	м	0÷50
Рекомендуемые углы борта карьера	град.	50-60

Открытым способом планируется отрабатывать месторождение Джеруй до отметки 3400 м. Ниже в таблице 3 приводятся основные элементы и параметры предлагаемой технологии открытой разработки месторождения /2/.

Таблица 3. Основные элементы и параметры принятой технологии открытой разработки месторождения Джеруй

Наименование	Параметры				
	длина, м	высота, м	ширина, м	угол наклона, град	уклон, %
уступ					
-в предельном положении		24		70	
- рабочий		8		70	
Берма безопасности			10-15		0,03
Призма обрушения		24	3,1		
Предохранительный вал		1	3,2		
Внешняя полутраншея					
-однополосное движение			13,5		до 10
-двухполосное движение			19,5		до 10
траншея	75-85	8	20-25		
Ширина рабочей площадки					
В пределах рудной зоны			от 13,5		
На вскрышных уступах			от 20		

Промышленное оруденение на участке месторождения для подземных горных работ ниже горизонта 3400 м по простиранию достигает 150-240 м. Мощность рудных тел на участке ниже отметки дна карьера 3400 м изменяется от 3 до 40 метров. Угол залегания рудного тела варьирует от 70до90°. Границы промышленного

оруденения определяются контуром, проведенным по бортовому содержанию 2,9 г/т. Руда и непосредственно вмещающие боковые горные породы имеют практически одинаковые характеристики по устойчивости. Устойчивость массива пород характеризуется от средней до неустойчивой. Основными факторами, снижающими устойчивость, являются тектонические нарушения мощностью от 0,5 до 5 м и повышенная трещиноватость руды. На рис.2 приведена схема развития работ при подземном способе отработки запасов месторождения Джеруй /2/.

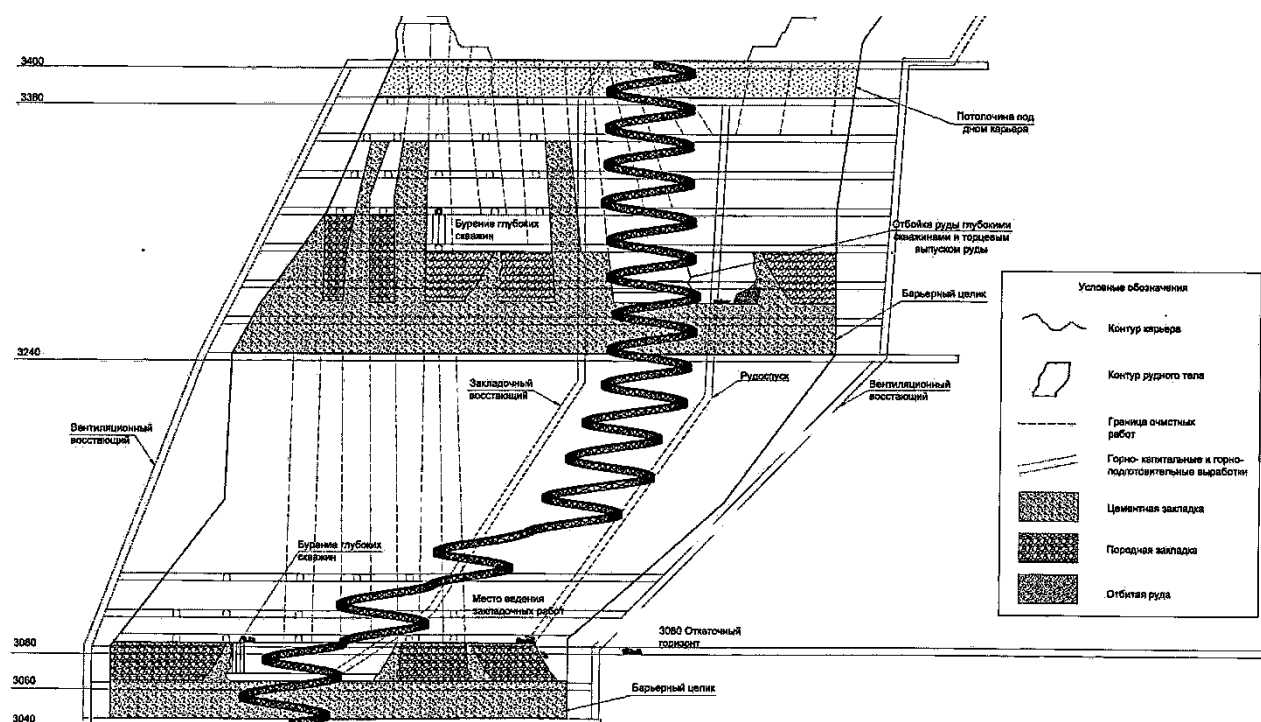


Рис.2. Схема развития работ при подземном способе отработки запасов месторождения Джеруй

Подземный способ разработки месторождения predetermined применение для подземного способа системы со 100% закладкой выработанного пространства. Детальное обоснование систем с закладкой и их вариантов для месторождения Джеруй было выполнено ранее компаниями Голдер, Каминко Инжиниринг и МК Голд

в Банковском ТЭО 1994 года, которое прошло экспертизу и было утверждено Постановлением правительства Кыргызской Республики.

Для отработки нижележащих горизонтов было рекомендовано применение подэтажно-камерной системы с породной и цементной закладкой выработанного пространства в двух основных вариантах:

- для мощности рудных тел более 10 м подэтажно-камерная система с поперечным расположением очистных камер;
- для мощности рудного тела менее 10 м – с продольным расположением очистных камер.

Для упрощения конструкции системы, снижения потерь и разубоживания руды и обеспечения безопасности самоходное погрузочно-доставочное оборудование принято с дистанционным управлением. На основе мобильного самоходного оборудования построена современная технология закладочных работ, обеспечивающая высокие эксплуатационные характеристики и безопасность.

Сущность указанных систем разработки заключается в следующем. Рудное тело по высоте делится на эксплуатационные подэтажи высотой 20 м, по простиранию на камеры. При мощности рудного тела более 10 м ширина камер по простиранию принимается 10 м, при мощности рудного тела менее 10 м ширина камер по простиранию принимается 20 м. Камеры располагаются одноосно, одна над другой. Оработка камер ведется снизу вверх. Все камеры расположенные в крест простирания делятся на первичные и вторичные. Первичные камеры отрабатываются в первую очередь и закладываются цементной закладкой. Вторичные камеры отрабатываются после набора нормативной прочности закладки во вторичных камерах. Фронт работ по первичным камерам опережает фронт работ повторичным камерам минимум на один подэтаж /3/.

Подготовка подэтажа заключается в проходке полевого подэтажного штрека на расстоянии 25-30 м от предполагаемого выемочного контура. Подэтажный штрек на флангах сбивается с фланговыми восстающими.

При расположении камер вкрест простирания рудного тела нарезные работы включают в себя проходку из подэтажного штрека разрезных ортов по оси камеры до висячего бока рудного тела. В конце каждого орта проходится отрезная щель на всю ширину камеры 10 м. При расположении камер по простиранию из пройденных ортов по оси камеры проходится разрезной штрек, в конце которого, на границе со следующей камерой разделяется отрезная щель. Для отбойки руды из разрезных ортов бурятся веера скважин в границах камер и рудного тела. Отбойка руды ведется слоями по 2-3 веера на открытую камеру или замагазинированную руду.

Руда из камеры выпускается и доставляется в рудоспуск погрузочно-доставочными машинами. Для работы в очистных камерах погрузочно-доставочные машины оборудованы дистанционным управлением. После выпуска руды, сразу производится закладка камер цементной или породной закладкой. Следует отметить, что в качестве закладки можно использовать как пустые породы, так и переработанные хвосты обогащения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол №90 заседания Государственной комиссии Кыргызской Республики по запасам полезных ископаемых. Бишкек, 2004 г. 10 с.
2. ТЭО целесообразности отработки месторождения Джеруй. ЗАО ГПК «Азиярудпроект». Бишкек, 2007 г. 338 с.
3. Именитов Р.В. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. М.: Недра, 1984. 504 с.

УДК 662.74:536.7

**РАСЧЕТ ПРОЦЕССА СЛОЕВОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫАДЫР (ПЛАСТ «НАДЕЖНЫЙ»)**

М.А. Набиев, Б.Т. Ермагамбет, Н.У. Нурғалиев

ТОО «Институт химии угля и технологии» (Казахстан, г. Астана)

Процесс газификации твердых топлив считается одним из наиболее перспективных направлений использования угля и позволяет получать синтез-газ для производства жидких моторных топлив, технологические газы для химической промышленности и металлургии, газообразный энергоноситель для производства электрической и тепловой энергии и др. При этом весьма актуальным является определение оптимальных технологических режимов ведения процесса, что возможно осуществить только на основе расчетных моделей газификации /1/.

Для реализации математического моделирования процесса слоевой газификации выбран метод проф. Доброхотова Н.Н., который используется при расчетах газификации как каменных, так и бурых углей /2/. Основным результатом расчета является определение состава и количества генераторного газа, исходя из рабочего состава угля, то есть без проведения экспериментов.

В данном методе расчет ведется отдельно по обеим стадиям: а) стадии сухого разложения (в верхней части генератора) и б) собственно процесса газификации (в нижней части генератора). При этом, исходя из практических данных, задаются распределением

содержащих в топливе углерода С, кислорода O₂ и водорода H₂ между составными частями генераторного газа. Затем подсчитывают количество CO, H₂, CO₂ и H₂O в газе, полученном по основному генераторному процессу в нижней части газификатора. Этот последний процесс характеризуется следующими уравнениями /2/:



Расчет процесса газификации Сарыадырского угля (пласт «Надежный») проводился в режиме дутья паро-воздушной смеси, значения расходов которых (согласно данной методике) принимались равными: водяного пара – 0,2; 0,3; 0,4 кг/кг и воздуха – 1,06; 1,11; 1,16 м³/кг (на 1 кг угля). В связи с этим количество расчетов проводилось 3² = 9 раз, т.е. комбинации проводились между всеми параметрами из этих интервалов. Выбор такого количества расчетов обусловлен определением оптимальных технологических режимов ведения процесса получения энергетического и синтез-газов. При этом основными отличительными характеристиками энергетического и синтез-газов будут являться наибольшие значения суммы основных горючих компонентов газа (CO, H₂, CH₄) и заданные объемные соотношения CO/H₂ (1-3) соответственно. Выбор указанных соотношений CO/H₂ обусловлен тем, что обычно их используют для синтеза жидких моторных топлив и различных ценных химических продуктов в зависимости от условий проведения синтеза /3/.

В таблице 1 приведена характеристика Сарыадырского угля.

Таблица 1. Характеристика Сарыадырского угля (пласт «Надежный»)

Топливо	Состав угля (на рабочую массу), %								Теплота сгорания, (ккал/кг)	
									ВЫСШ.	НИЗШ.
	W_t^r	A^r	V^{daf}	C^r	O^r	H^r	N^r	S^r	Q_y^e	Q_y^u
Сарыадыр	2,94	46,47	27,68	40,71	6,56	2,66	0,39	0,27	3932	3771

Результаты проведенного расчета представлены в таблице 2 и на рисунках 1,2. Теплотворную способность газа Q_g и КПД газификации η (в %) определяли как:

$$Q_g = (3016 \cdot CO + 2576 \cdot H_2 + 8558 \cdot CH_4 + 5620 \cdot H_2S) \cdot 0,01 \text{ ккал/м}^3$$

Q_g – теплотворная способность газа; 3016, 2576, 8558, 5620 – теплотворные способности газов (в ккал/м³) CO , H_2 , CH_4 , H_2S соответственно; CO , H_2 , CH_4 , H_2S – содержание компонентов в газе, об. %.

$$\eta = \frac{V_g \cdot Q_g}{M \cdot Q_y} \cdot 100 \%$$

Q_g и Q_y – теплотворные способности газа и угля соответственно (ккал/кг); V_g – объем полученного газа (м³); M – масса израсходованного угля (кг).

Анализ полученных данных показывает, что максимальный общий выход основных компонентов газа (H_2 , CO , CH_4) (48,35 % для сухого газа) наблюдается при наименьших расходах воздуха (1,06 м³/кг) и пара (0,2 кг/кг) (режим 3 в таблице 2). Аналогично, наименьший выход основных компонентов газа H_2 , CO , CH_4 (42,29 % для сухого газа) наблюдается при наибольших расходах воздуха (1,16 м³/кг) и пара (0,4 кг/кг) (режим 7 в таблице 2).

Таблица 2. Варианты ведения процесса газификации угля
Сарыадырского месторождения (пласт «Надежный»)

Режим	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расход пара (кг/кг)	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Расход воздуха (м³/кг)	1,16	1,11	1,06	1,16	1,11	1,06	1,16	1,11	1,06
Температура газификации (°C)	900	900	900	900	900	900	900	900	900
Выход влажного газа (м³/кг)	2,04	2,00	1,96	2,16	2,12	2,08	2,29	2,24	2,20
Выход сухого газа (м³/кг)	1,89	1,85	1,82	1,94	1,90	1,87	1,97	1,94	1,91
Сумма: CO+ H ₂ + CH ₄ (об. %)	40,93 44,25	42,99 46,36	44,95 48,35	38,57 43,12	40,48 45,11	42,27 46,98	36,48 42,29	38,22 44,21	39,87 45,99
Соотношение: H ₂ /CO	0,654	0,651	0,649	0,847	0,845	0,843	1,029	1,027	1,026
Состав газа (%):	влажный / сухой								
CO ₂	5,88 6,35	5,26 5,67	4,68 5,03	7,82 8,75	7,37 8,21	6,94 7,71	9,06 10,50	8,71 10,07	8,39 9,67
CH ₄	2,56 2,76	2,61 2,82	2,67 2,87	2,41 2,69	2,46 2,74	2,51 2,79	2,28 2,64	2,32 2,69	2,36 2,73
CO	23,20 25,09	24,46 26,37	25,64 27,58	19,58 21,89	20,61 22,97	21,57 23,97	16,86 19,54	17,71 20,48	18,51 21,35
H ₂ S	0,07 0,08	0,08 0,08	0,08 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08
H ₂	15,17 16,40	15,92 17,17	16,64 17,90	16,58 18,54	17,41 19,40	18,19 20,22	17,34 20,11	18,19 21,04	19,00 21,91
N ₂	45,24 48,92	44,04 47,49	42,90 46,13	42,64 47,67	41,45 46,21	40,33 44,83	40,32 46,75	39,16 45,27	38,06 43,88
H ₂ O	7,52 -	7,26 -	7,01 -	10,55 -	10,29 -	10,03 -	13,75 -	13,51 -	13,27 -
C ₂ H ₄	0,37 0,39	0,37 0,40	0,38 0,41	0,34 0,38	0,35 0,39	0,36 0,40	0,33 0,38	0,33 0,38	0,34 0,39
Итого	100	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Теплота сгорания Q _г , ккал/м³	1420,2	1483,4	1542,7	1372,7	1431,5	1486,7	1337,8	1393,6	1445,9
η _г (КПД), %	71,04	72,81	74,41	70,47	72,21	73,79	70,02	71,75	73,32

Увеличение расхода водяного пара (в диапазоне 0,2-0,4 кг/кг) приводит к:

- 1) заметному повышению концентрации диоксида углерода CO_2 и водорода H_2 ,
- 2) заметному уменьшению выхода оксида углерода CO и незначительному снижению доли компонентов метана CH_4 ; азота N_2 , этилена C_2H_4 .
- 3) повышению целевого соотношения $\text{H}_2:\text{CO}$ (от 0,65 до 1,03);
- 4) уменьшению суммарного выхода основных компонентов газа ($\text{H}_2, \text{CO}, \text{CH}_4$).
- 5) увеличению общего выхода газа;
- 6) уменьшению теплоты сгорания Q_r , КПД газификации η_r .

Влияние H_2O в пунктах 1)-3) можно объяснить тем, что в соответствии с реакцией водяного газа: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$.

Увеличение расхода воздуха приводит к аналогичному влиянию на состав газа, за исключением того, что уменьшается выход H_2 и повышается выход азота N_2 .

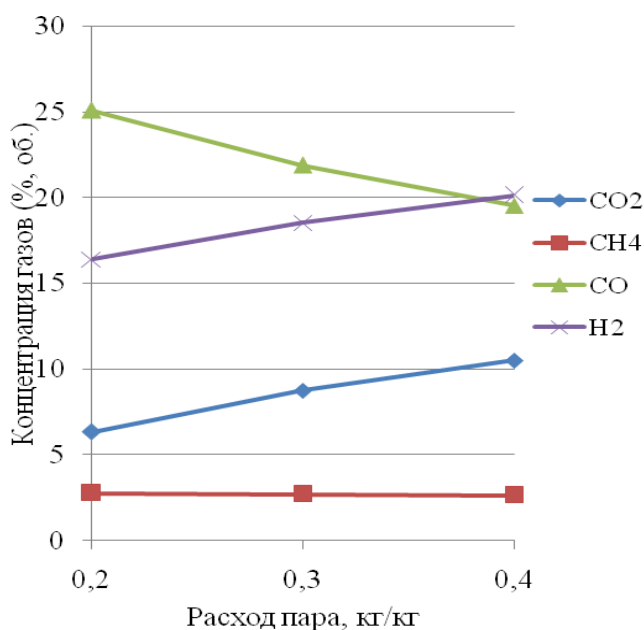


Рис.1. Влияние расхода водяного пара (на 1 кг угля) на выход компонентов сухого газа из Сарыадырского угля при расходе воздуха $1,16 \text{ м}^3/\text{кг}$

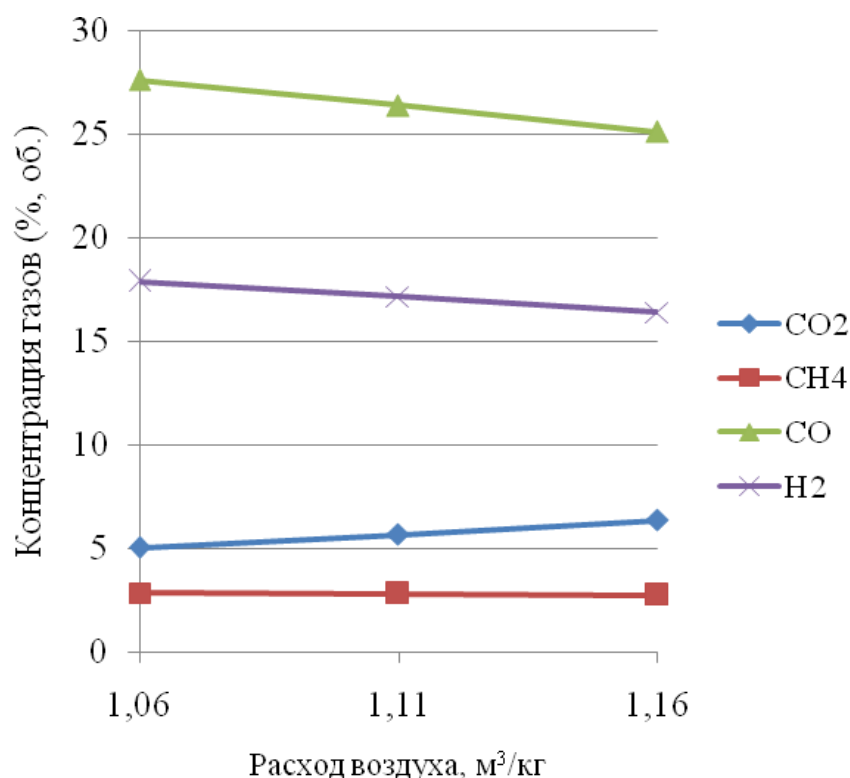


Рис. 2. Влияние расхода воздуха (на 1 кг угля) на выход компонентов сухого газа из Сарыадырского угля при расходе водяного пара 0,2 кг/кг

Полученные данные показали, что для получения энергетического газа с наибольшими показателями по калорийности и КПД газификации необходимо, чтобы расходы вдуваемого пара и воздуха были наименьшими, но достаточными для качественного сжигания угля, т.е. с минимальными остатками шлака. Таким условиям из заданных диапазонов значений количества паро-воздушного дутья соответствует режим 3 (таблица 2), в котором получаемое количество наибольшей суммы основных компонентов газа (H_2, CO, CH_4) – 48,35 %. Для режима 3, соответствующего оптимальному режиму ведения процесса для получения энергетического газа, в таблице 3 представлен материальный баланс процесса газификации. Незначительное расхождение между статьями расхода и прихода связано с погрешностью расчета, что составляет $\approx 0,12$ %.

Для получения синтез-газа наиболее подходит режим 7 с максимальным соотношением $H_2/CO = 1,029$ при максимальных значениях расходов воздуха ($1,16 \text{ м}^3/\text{кг}$) и водяного пара ($0,4 \text{ кг/кг}$) (таблица 2).

Таким образом, проведение моделирования процесса газификации позволяет находить оптимальные технологические параметры ведения процесса, такие как расходы паро-воздушного дутья.

Таблица 3. Материальный баланс процесса получения газа.

Наименование статей прихода и расхода	кг
<i>Приход</i>	
1. Уголь	100,0
2. Водяной пар	20,0
3. Воздух	135,1
Итого расход	255,1
<i>Расход</i>	
1. Синтетический газ	204,4
2. Унос углерода в топливе	1,6
3. Зола ($A^r = 46,5 \%$)	46,5
4. Неразложившийся пар (10 % от H_2O)	2,3
Итого расход	254,8

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов, А.Б. Разработка автотермической технологии производства полукокса и активированного угля: Дисс. работа канд. техн. наук: 01.04.14 / А.Б. Морозов. – Красноярск. - 2003. - 171 с.

2. С.Д. Бесков. Техно-химические расчеты. 3-е издание, исправл. /под ред. Я.Г. Алавердова. – 468 с.

3. Нагорнов, А. Н. Исследование и разработка технологии газификации малозольных углей в плотном слое под давлением при паровоздушном дутье: диссер. работа на соискание ученой степени к.т.н. – Барнаул, 2010. – 124 с.

УДК 550.834 (575.2) (04)

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ,
ПОСТРОЕННЫХ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

А.М. Осмонканов, Э.Тургуналиев, А.А.Уралиев,
М.К.Асанова, Т.Эркинбаев

КГУСТА им Н. Исанова

В данной работе на основе наблюдаемых значений магнитуды земного шара изучаются параметры модели АРПСС. Полученные данные рассматриваются как случайный процесс (временный ряд) и изучаются посредством аппарата теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов.

Прогнозирование поведения временного ряда на ближайшие 5-лет произведено посредством программы «STATISTIKA».

Важной задачей при анализе временных рядов является определение параметров модели АРПСС. В модели АРПСС имеются следующие типы параметров: p -порядок авторегрессии, d -порядок разности, q -порядок скользящего среднего.

Основной критерий идентификации параметров модели АРПСС-поведение автокорреляционный и частный автокорреляционный функции временного ряда. Но действительности они не известны, и мы имеем дело с их более или менее точными оценками, которые называются выборочными автокорреляционными и частными автокорреляционными функциями. Корреляционная функция

действительного случайного процесса $\{x_t\}_{t \in T}$ определяется равенством

$K(t,s)=E\{[X_t + EX_t][X_s - EX_s]\}$, где E - математическое ожидание, а частная автокорреляционная функция $Rorr(X_t, X_s)=\frac{K(t,s)}{DX_t DX_s}$, где D - дисперсия.

Выборочная автокорреляция по выборке $X_1, X_2, \dots, X_n$ определяется по формуле

$$C_k(n) = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - EX_t)(X_{t+k} - EX_{t+k}),$$

т-е. автокорреляционная функция случайного процесса. x_t —это корреляция значений x_t и X_{t+h} и следовательно автокорреляция зависит лишь от h (но не от t).

В исследовании временного ряда, сначала нужно оценить параметр d . Прежде всего, визуализируем ряд и определим, является ли ряд стационарным или нет. Как видно из рис №2 тренд не наблюдается, тогда рассмотрим выборочную автокорреляционную функцию $C_k(n)$. Рассмотрев график автокорреляционную функцию мы приходим к trendyо том, что ряд нестационарен, т.и. автокорреляционная функция не имеет тенденции к затуханию. Убывание автокорреляционной функции является необходимым условием для стационарного случайного процесса. И так, ряд не стационарен. В этом случае рассмотрим разность первого порядка

$$\{Y_t = \nabla X_t = X_t - X_{t-1}\}_{t=2}^n$$

Трижды применив к ряду $\{x_t\}_{t=1}^n$ разностный оператор ∇ , мы получили стационарный ряд. Таким образом, у нас порядок разности в модели АРПСС равен 3.

Для определения параметров p, q рассматривают выборочные автокорреляционные и частные автокорреляционные функции ряда $\{\nabla^3 x_t\}_{t=1}^n$.

Имеются следующие закономерности, связывающие параметры p , q и поведение автокорреляционной и частной автокорреляционной функции временного ряда.

Пусть наблюдается процесс авторегрессии порядка p . Тогда его частная автокорреляционная функция обрывается на лаге p .

Но у нас такое не наблюдается. И мы взяли $p=0$.

Пусть наблюдается процесс скользящего среднего порядка q , тогда его автокорреляционная функция обрывается на лаге q . (рис). В нашем случае $q=3$. Далее частная автокорреляционная функция плавно спадает.

Следует отметить, что эти критерии носят достаточно расплывчатый характер, возможно, с их помощью будет идентифицирована и не одна модель.

Теперь о прогнозировании.

Известно, что теоретически предиктор (прогноз) $X_t^*(k)$ для будущего значения процесса X_{t+k} , $k \geq 1$ предполагая, что известны все значения X до момента t включительно определяется по формуле

$$X_t^*(k) = E(X_{t+k} | X_\tau, \tau \leq t)$$

Существуют различные способы представления общей линейной модели. Для нашей модели мы имеем

$$\nabla^3 x_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) a_t, \text{ где} \quad (1)$$

B -оператор сдвига; B
 $a_t = a_{t-1}$, a_t – белый шум. Белый шум – это последовательность $\{a_t\}$ независимых одинаково распределенных случайных величин с конечной дисперсией.

Ошибка модели (1) определяется по формуле

$$e_t(k) = X_{t+k} - X_t^*(k) = \sum_{j=0}^{k-1} \psi_j a_{t+k-j}, \text{ где } \psi_j = -\theta_j, j = 1, q, \psi_j = 0 \text{ при } j > q.$$

$$(2)$$

Соотношениями (1)-(2) формально полностью решается проблема прогнозирования.

$$w_t \equiv \nabla^3 x_t = (I - B)^3 x_t = \left(\sum_{j=0}^3 (-1)^j C_3^j B^j \right) x_t =$$

$$= \sum_{j=0}^3 (-1)^j C_3^j x_{t-j} = x_t - 3x_{t-1} + 3x_{t-2} - x_{t-3}$$

Если ввести обратный к ∇ оператор

$$S = \nabla^{-1} = (I - B)^{-1} = \sum_{j=0}^{\infty} B^j$$

то, получим $x_t = S^d w_t$. Здесь S-называется оператором суммирования (т.к. $Sx_t = x_t + x_{t-1} + x_{t-2} + \dots$).

Модель $\nabla^3 x_t = \theta(B)a_t$ можно представить через текущее предшествующее значения белого шума;

$$\nabla^3 x_t = \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \theta_2 \alpha_{t-2} = \alpha_t + \psi_1 \alpha_{t-1} + \psi_2 \alpha_{t-2} \equiv \Psi(B)\alpha_t. \text{ т.е.}$$

$$x_t - 3x_{t-1} + 3x_{t-2} - x_{t-3} = \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \theta_2 \alpha_{t-2}$$

и переходя к условным математическим ожиданиям при заданных $X_\tau, \tau \leq t$ для $t \rightarrow t+1$ получаем прогноз на один шаг вперед

$$X_t^*(1) = 3x_t - 3x_{t-1} + x_{t-2} - \theta_1 \alpha_t - \theta_2 \alpha_{t-1}$$

Если перейти $t \rightarrow t+k$ то имеем

$$x_{t+k} = 3x_{t+k-1} - 3x_{t+k-2} + x_{t+k-3} - \theta_1 \alpha_{t+k-1} - \theta_2 \alpha_{t+k-2}$$

учитывая $X_t^*(j) = E(X_{t+k} | X_\tau, \tau \leq t) \equiv [x_{t+j}]_t = X_t^*(j)$ при $1 \leq j < k$

$$[x_{t-j}]_t = x_{t-j}$$

$$[a_{t-j}]_t = a_{t-j} \quad 0 \leq j \leq q \quad [a_{t+j}]_t = 0, \quad j \geq 1$$

получим $X_t^*(2) = 3x_{t+1} - 3x_t + x_{t-1} - \theta_2 \alpha_t = 3X_t^*(1) - 3x_t + x_{t-1} - \theta_2 \alpha_t$

и так далее. У нас в таблице показаны значение

$$X_t^*(1), X_t^*(2), X_t^*(3), X_t^*(4) \text{ и } X_t^*(5).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокс Дж., Дженкинс Т. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып.1,2.-М.: Мир , 1974.
2. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS -М.: «Финансы и статистика» 2000.

УДК 626.627.03.042.019.3

**СРАВНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ
УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ
ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА «ТЕКТОНИК»**

Б.А. Чукин, Э.А. Ким, Р.Б. Чукин

ИГиОН НАН КР

В последнее время широкое распространение получили вероятностные методы оценки устойчивости геотехнических объектов. Наиболее достоверным в определении вероятности устойчивости геотехнических объектов является метод прямых статистических испытаний - метод Монте-Карло. В научной литературе рекомендуется использовать и другие методы, в частности, - метод статистической линеаризации. К основному достоинству метода статистической линеаризации относят и тот факт, что статистических испытаний по сравнению с методом Монте-Карло требуется значительно меньше. В некоторых публикациях отмечается, что метод статистической линеаризации в отличие от метода Монте-Карло дает возможность оценить значимость неизвестных факторов на устойчивость исследуемого объекта. Отмечаем, что современные программы по статистической обработке данных, позволяют дать такую оценку и при использовании метода Монте-Карло. Определение значимости факторов является важной составляющей для принятия эффективных инженерных решений, направленных на повышение устойчивости исследуемого объекта.

Мы поставили перед собой задачу сравнить различные вероятностные методы оценки устойчивости на примере оползневого склона «Тектоник». Расчетная модель оползневого склона «Тектоник» была построена на основании геологической модели, предоставленной зав. лабораторией «Горной геофизики и экзогеодинамики» ИГиОН НАН КР к.т.н. Алешиным Ю.Г. В качестве случайных величин были выбраны прочностные свойства: сцепление (C) и угол внутреннего трения (φ) трех расчетных элементов. Расчетные элементы определены на основании инженерно-геологических элементов. В результате, оползневой склон «Тектоник» представлен расчетной моделью, состоящей из суглинка лессовидного мощностью до 3 м, глинистых грунтов основной толщи покровных отложений мощностью до 26 м и глинистых грунтов на границе с песчаниками мощностью до 2 м.

Для выполнения расчетов вероятностными методами необходимо знать закон распределения случайных величин. Было принято решение, что прочностные и деформационные свойства всех трех грунтов подчиняются нормальному закону распределения. Значения математического ожидания $M(x)$ прочностных свойств, модуля деформации (E) и коэффициент Пуассона (μ) для грунтов выбраны по рекомендациям СНиП 2.02.02-85 «Основания гидротехнических сооружений» /1/ и приводятся в таблице 1.

Таблица 1.

Грунты	I_L	e	Из СНиП 2.02.02-8 «Основания гидротехнических сооружений»			
			C , кПа	φ , град.	E , МПа	μ
Суглинок лессовидный	$0 < I_L \leq 0.25$	0,65	31	24	22	0.36

покровный мощностью до 3 м						
Глинистые грунты основной толщи покровных отложений мощностью до 26 м.	$0 < I_1 \leq 0.25$	0,65	68	20	24	0.34
Глинистые грунты на границе с песчаниками, переувлажненные, мощностью до 2 м.	$0.25 < I_1 \leq 0.5$	0,65	57	18	21	0.4

Значения стандартных отклонений $\sigma(x)$ определены из предположения, что коэффициент вариации ϑ для прочностных свойств равен 0.3, - по формуле:

$$\sigma(x) = \vartheta * M(x) \quad (1)$$

Вероятностная оценка устойчивости оползневого склона «Тектоник» методом Монте-Карло.

В качестве базовых значений вероятностной оценки устойчивости оползневого склона «Тектоник» были выбраны результаты, полученные при реализации методом Монте-Карло. Особенность метода Монте–Карло заключается в необходимости проводить вычисления устойчивости при значениях случайных величин, полученных в результате разыгрывания случайных величин, согласно закону их распределения /2/. Для разыгрывания значений случайных величин С и ф была использована функция «Генерация случайных величин» в Excel. Количество экспериментов составило 80. Расчеты устойчивости выполнены на программе FLAC.

В таблице 2 приводятся значения математического ожидания (Mx) и стандартного отклонения $\sigma(x)$ для выбранных случайных величин.

Там же приводятся значения C и φ , полученные в результате разыгрывания. В последних двух столбцах приводятся значения коэффициента устойчивости (K_u), полученные для соответствующих случайных значений C и φ . Цифра 1 соответствует случаю, когда $K_u < 1$. Таблица 2 приведена в сокращенном виде.

Таблица 2.

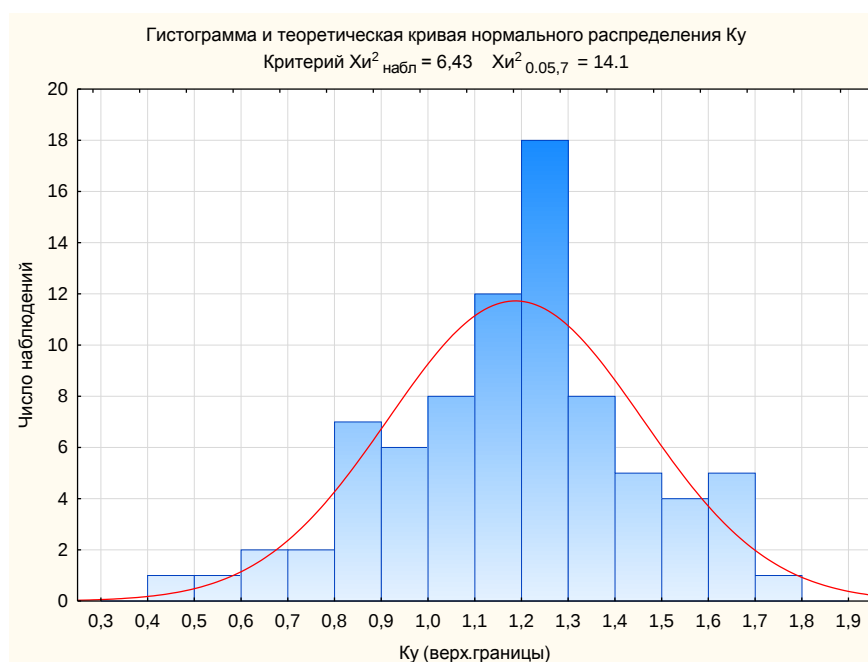
Результаты расчета устойчивости при значениях случайных величин								
	Суглинок лессовидный		Глина-1		Глина-2		FLAC	Ky<1
	C	Fi	C	Fi	C	Fi		
	кПа	град.	кПа	град.	кПа	град.		
M(x)	31	24	68	20	57	18	Ky	
б(x)	9.3	7.2	20.4	6	17.1	5.4		
v(x)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
1	28.2	24.0	42.4	17.3	79.0	25.1	1.17	
2	19.1	23.8	78.3	19.4	31.6	25.0	1.48	
3	33.3	29.5	74.8	26.9	68.4	23.0	1.65	
8	28.8	24.5	35.1	8.9	48.2	19.4	0.71	1
9	41.2	21.7	67.9	9.3	66.5	18.9	1.01	
16	11.3	22.4	39.3	25.2	86.3	12.0	1.19	
17	25.7	25.0	44.5	10.0	30.8	20.1	0.84	1
18	27.2	31.5	43.9	17.6	85.1	33.0	1.20	
19	32.3	24.4	79.5	23.0	67.1	7.7	0.88	1
20	27.6	14.3	84.7	20.1	54.4	26.7	1.64	
21	28.0	20.6	77.4	16.3	63.5	10.2	0.97	1
55	38.0	25.0	55.1	15.1	44.1	13.3	0.97	1
56	35.3	18.7	96.0	16.5	60.2	35.6	1.59	
57	39.1	23.6	61.7	7.9	50.8	17.7	0.88	1
58	36.5	20.0	72.4	7.2	54.7	16.1	0.94	1
80	36.9	29.4	40.5	13.9	73.2	24.6	0.99	1

В таблице 3 приведены результаты статистической обработки полученных значений K_u , а также подсчитанные значения относительной частоты $K_u < 1 = 19/80$ и вероятность $K_u < 1$ при $\bar{X} = 1.187$ и $\sigma = 0.272$.

Таблица 3.

Среднее значение	1.187	Число наблюдений $K_y < 1$	Общее число выборки	Относительная частота $K_y < 1$	Вероятность $P(K_y < 1)$
Стандартное отклонение	0.272				
Дисперсия	0.074	19	80	0.2375	0.246

Проверка гипотезы о нормальном законе распределения полученных значений K_y по критерию Пирсона выполнялась на программе Statistica. На рис. 1 представлена гистограмма распределения K_y . Наблюдаемое значение критерия Пирсона $X^2_{\text{набл.}} = 6.43$, критическая точка $X^2_{\text{кр}} = 14.1$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы с учетом объединения частот ($n_i < 5$) $k = 7$. Так как $X^2_{\text{набл.}} < X^2_{\text{кр}}$, нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности K_y .

Рис. 1 – Гистограмма и теоретическая кривая нормального распределения K_y .

Значения K_y оползневого склона «Тектоник» подчиняются нормальному закону распределения. Так как K_y , как случайная величина, распределяется по нормальному закону, то это дает нам

право приступить к определению минимального объема выборки и к вычислению интервальных оценок.

Минимальный объем выборки (расчетов), при которой с надежностью $\gamma=0,95$ точность оценки математического ожидания K_y генеральной совокупности по выборочной средней $K_y = 1.187$ равна $\delta=0.1$ - вычисляется по формуле: $n=t^2\sigma^2/\delta^2$ (2)

где n -минимальный объем выборки, t - значение аргумента функции Лапласа $\Phi(t)$, σ – среднеквадратическое отклонение, δ – точность оценки.

Результаты расчетов минимального объема выборки сведены в таблицу 4.

Таблица 4.

Расчет минимального объема выборки

Надежность	0.95	Функции Лапласа $\Phi(t) = 0,9/2$	0.475
Стандарт	0.272	Табличное значение t	1.96
Точность оценки K_y	0.1	Минимальный объем выборки должен быть не ниже	29

Таким образом, количество расчетов (80) превышает необходимый объем выборки, что дает основание перейти к вычислению интервальных оценок.

В интервальной оценке с надёжностью $\gamma=0.95$ математического ожидания K_y нормально распределённого количественного признака X по выборочной средней $\bar{K}_y$ при известном среднем квадратическом отклонении σ генеральной совокупности (т.к. объем выборки $n>30$) - служит доверительный интервал:

$$\bar{K}_y - t(\sigma/\sqrt{n}) < K_y < \bar{K}_y + t(\sigma/\sqrt{n}), \quad (3)$$

где $t(\sigma/\sqrt{n})=\delta$ – точность оценки, n –объем выборки, t – значение аргумента функции Лапласа $\Phi(t)$, при котором $\Phi(t)=\gamma/2$;

$\bar{K}_y=1.187$; $\sigma=0.272$; $n=80$; $\gamma=0.95$; t найдем из соотношения $\Phi(t)=0.95/2=0.475$ по таблице функции Лапласа значение $t=1.96$

Искомая точность оценки составит $1.96(0.272/(80^{0.5}))=0.06$.

Искомый доверительный интервал математического ожидания

$$1.13 < M(K_y) < 1.25$$

В интервальной оценке с надёжностью $\gamma=0.95$ среднего квадратического отклонения $\sigma(K_y)$ нормального распределённого количественного признака K_y по «исправленному» выборочному среднему квадратическому отклонению $s(K_y)$ - служит доверительный интервал:

$$0 < \sigma(K_y) < s(K_y)(1 + q) \quad (\text{при } q > 1), \quad (4)$$

где q находят по таблице по заданным $n = 80$ и $\gamma=0.95$, $q=0.161$.

Искомый доверительный интервал стандарта $0.228 < \sigma(K_y) < 0.316$.

В интервальной оценке с надёжностью $\gamma=0.95$ неизвестной вероятности $P(K_y < 1)$ биномиального распределения (биномиальное распределение приближается к нормальному распределению) по относительной частоте w ($K_y < 1$) - служит доверительный интервал (с приближенными концами p_1 и p_2), $p_1 < p < p_2$,

где
$$p_1 = \frac{n}{t^2 + n} \left[w^2 + \frac{t^2}{2n} - t \sqrt{\frac{w(1-w)}{n} + \left(\frac{t}{2n} \right)^2} \right], \quad (5)$$

$$p_2 = \frac{n}{t^2 + n} \left[w + \frac{t^2}{2n} + t \sqrt{\frac{w(1-w)}{n} + \left(\frac{t}{2n} \right)^2} \right], \quad (6)$$

где n – общее число испытаний; m – число появлений события $K_y < 1$; w – относительная частота, равная отношению m/n ; t – значение аргумента функции Лапласа, при котором $\Phi(t)=\gamma/2$, γ – заданная надёжность, $n=80$; $m=19$; $w=0.238$; $t=1.96$.

Искомый доверительный интервал для вероятности

$$0.158 < P(K_y < 1) < 0.341.$$

Вероятностная оценка устойчивости оползневого склона «Тектоник» методом статистической линеаризации

K_y , как случайная величина, является функцией случайных величин C_i и φ_i . Мы приняли, что случайные величины C_i и φ_i подчиняются нормальному закону распределения. В общем виде функция $K_y=f(C_i, \varphi_i)$ - нелинейная, но в области практических значений C_i и φ_i предполагаем, что мало отличается от линейной. Функция $K_y=f(C_i, \varphi_i)$ малой окрестности точки при значениях математического ожидания $M(C_i)$ и $M(\varphi_i)$ заменяется линейной. Это равносильно тому, чтобы в разложении функции в ряд Тейлора около точки $M(C_i)$, $M(\varphi_i)$ сохранить только члены первого порядка [2].

$$K_y=f(C_i, \varphi_i) \approx f[M(C_i), M(\varphi_i)] + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_m * (X_i - m_{x_i}) \quad (7)$$

где n - число случайных величин (C_i, φ_i) , $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_m$ - частные производные функции K_y по соответствующим случайным величинам C_i, φ_i ,

m_{x_i} - математическое ожидание соответствующей случайной величины, $(X_i - m_{x_i})$ отклонение от значения математического ожидания на величину стандарта $\sigma(C_i, \varphi_i)$ соответствующей величины.

В результате математическое ожидание K_y можно получить вычислением K_y при значениях C_i и φ_i на уровне их математического ожидания $M(C_i)$ и $M(\varphi_i)$.

Стандартное отклонение $\sigma(K_y)$ в общем виде вычисляется по зависимости

$$\sigma(K_y)^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_m^2 * \sigma_{x_i}^2 + 2 \sum_{i < j} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_m * \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right)_m * r_{ij} \sigma_{x_i} \sigma_{x_j} \quad (8)$$

где r_{ij} коэффициент корреляции величин X_i, X_j .

Необходимо отметить, что корреляция между C_i и φ_i для одного инженерно-геологического элемента может быть только со знаком минус. И если корреляция существует, то стандартное отклонение $\sigma(Ky)$ уменьшается, что, в конечном счете, увеличивает вероятность устойчивости геотехнического объекта. Ввиду отсутствия корреляционных зависимостей для C_i и φ_i и идя по пути увеличения вероятности обрушения, стандартное отклонение $\sigma(Ky)$ будем вычислять из предположения отсутствия корреляции между C_i и φ_i .

$$\text{В этом случае: } \sigma(Ky)^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m * \sigma_{x_i}^2 \quad (9)$$

Вычисление частных производных производилось методом конечных разностей.

В таблице 5 приводятся результаты расчетов Ky по методу статистической линеаризации. Необходимо отметить, что расчеты Ky были выполнены как при значениях отклонения от математического ожидания на $+\sigma(C_i, \varphi_i)$, так и при $-\sigma(C_i, \varphi_i)$. В таблице 5 значения с отклонением плюс выделены коричневым цветом, а значения с отклонением минус – зеленым.

Таблица 5.

	Суглинок лессовидный		Глина-1		Глина-2		FLAC Ky
	C	Fi	C	Fi	C	Fi	
	кПа	град.	кПа	град.	кПа	град.	
M(x)	31	24	68	20	57	18	1.3
B(x)	9.3	7.2	20.4	6	17.1	5.4	
v(x)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
M(X _i)	31	24	68	20	57	18	
1	40.3	24	68	20	57	18	1.3
2	21.7	24	68	20	57	18	1.3
3	31	31.2	68	20	57	18	1.3
4	31	16.8	68	20	57	18	1.3
5	31	24	88.4	20	57	18	1.32
6	31	24	47.6	20	57	18	1.28

7	31	24	68	26	57	18	1.32
8	31	24	68	14	57	18	1.22
9	31	24	68	20	74.1	18	1.41
10	31	24	68	20	39.9	18	1.19
11	31	24	68	20	57	23.4	1.51
12	31	24	68	20	57	12.6	1.04

В результате были получены следующие значения:

Математическое ожидание $K_y = 1.3$.

Стандартное отклонение $\sigma(K_y)$ при значениях $+\sigma(C_i, \varphi_i) = 0.239$.

Стандартное отклонение $\sigma(K_y)$ при значениях $-\sigma(C_i, \varphi_i) = 0.294$.

Вероятность $P(K_y < 1)$ при значениях $+\sigma(C_i, \varphi_i) = 0.104$.

Вероятность $P(K_y < 1)$ при значениях $-\sigma(C_i, \varphi_i) = 0.154$.

Необходимо выполнить проверку: покрывают ли соответствующие доверительные интервалы значения, полученные методом линеаризации. Результаты проверки сведены в таблицу 6.

Таблица 6

Доверительный интервал с надёжностью $\gamma=0.95$ для оценки математического ожидания K_y		
1.13	$M(K_y)=1.3$	1.25
Доверительный интервал с надёжностью $\gamma=0.95$ для оценки стандартного отклонения K_y		
0.228	$\sigma(K_y)=0.239 (+)$ $\sigma(K_y)=0.239 (-)$	0.316
Доверительный интервал с надёжностью $\gamma=0.95$ для оценки вероятности $K_y < 1$		
0.158	$P(K_y)=0.104 (+)$ $P(K_y)=0.154 (-)$	0.341

Значение математического ожидания $M(K_y)$ и значения вероятности $P(K_y < 1)$ выходят за границы доверительного интервала. Значения стандартного отклонения $\sigma(K_y)$ попадают в границы доверительного интервала. Таким образом использование метода

линеаризации для вероятностной оценки устойчивости оползневого склона «Тектоник» вызывает сомнение. Этот вывод побудил нас прибегнуть к методу статистической линеаризации с уточнением.

Вероятностная оценка устойчивости оползневого склона «Тектоник» методом статистической линеаризации с уточнением.

Метод статистической линеаризации с уточнением основан на сохранении в разложении функции не только линейных членов, но и членов более высокого порядка и оценке погрешностей, связанных с этими членами [2]. Разлагая функцию в ряд Тейлора в окрестности точки при значениях математического ожидания $M(C_i)$ и $M(\varphi_i)$ и сохраняя в разложении члены не выше второго порядка, имеем приближенно:

$$K_y = f(C_i, \varphi_i) \approx f[M(C_i), M(\varphi_i) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m (X_i - m_{x_i}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i^2} \right)_m] \quad (10)$$

Для уточнения численных значений $M(K_y)$ используется зависимость: $M(K_y) = [M(C_i), M(\varphi_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i^2} \right)_m * D_{x_i}]$ (11)

Для уточнения стандартного отклонения $\sigma(K_y)$ используется зависимость: $\sigma(K_y)^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)_m * D_{x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i^2} \right)_m^2 * D_{x_i}^2$ (12)

где D_{x_i} - дисперсия соответствующей величины.

Как видно, для расчетов уточненных значений требуются вычисления не только частных производных первого порядка, но и частных производных второго порядка. Используя значения, приведенные в таблице 5, и формулы метода конечных разностей - вычисляем производные.

В результате были получены следующие значения:

Уточненное значение математического ожидания $K_y = 1.245$.

Уточненное значение стандартного отклонения $\sigma(K_y) = 0.271$.

Уточненное значение вероятности $P(K_y < 1) = 0.183$.

Выполним проверку: покрывают ли соответствующие доверительные интервалы значения, полученные методом линеаризации с уточнением. Результатами проверки сведены в таблицу 7.

Таблица 7.

Доверительный интервал с надёжностью $\gamma=0.95$ для оценки математического ожидания K_y		
1.13	$M(K_y)=1.245$	1.25
Доверительный интервал с надёжностью $\gamma=0.95$ для оценки стандартного отклонения K_y		
0.228	$\sigma(K_y)=0.271$	0.316
Доверительный интервал с надёжностью $\gamma=0.95$ для оценки вероятности $K_y < 1$		
0.158	$P(K_y)=0.183$	0.341

Как видим, все значения попадают в границы доверительных интервалов.

Выполненные исследования по сравнению вероятностных методов оценки устойчивости геотехнических объектов на примере оползневого склона «Тектоник» говорят о том, что для вероятностной оценки, наряду с методом Монте–Карло, можно использовать метод статистической линеаризации с уточнением.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.02.02-85 «Основания гидротехнических сооружений».
2. Беллендир Е.Н., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. и др. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений. - СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», том 1, 2, 2004.

УДК 622.274., 622.33

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ РУДЫ В ЦЕЛИКАХ НА РУДНИКЕ МАКМАЛ

Д.К.Тажибаев, К.Т.Тажибаев, С.Ж.Куваков

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Золоторудное месторождение Макмал отрабатывается с 1986 года под дном карьера. Верхние горизонты месторождения от поверхности и до отметки 2500 м (2485 м) отработаны открытым способом карьером по проекту Гиналмаззолото. Начиная с 2003 года месторождение разрабатывается подземным способом. Запасы ниже горизонта 2500 м до горизонта 2370 м в настоящее время полностью отработаны. При подземной отработке месторождения Макмал возникли проблемы устойчивости массива горных пород, проблемы при отработке целиков на нижних горизонтах, связанные с устойчивостью пород рудного тела.

В качестве основной (базовой) системы разработки подземного рудника Макмал в настоящее время для мощности рудных тел до 10м была принята система подэтажных штреков с донным выпуском руды (41,8% всех балансовых запасов горизонта штольни № 11) для мощности рудных тел до 10м, а при мощности рудных тел более 10м принята система этажного обрушения (58,2% от всех балансовых запасов горизонта штольни № 11) /1/.

Ниже в таблице 1 приводятся параметры камер и целиков при вышеуказанных системах разработки /1/.

Таблица 1.Параметры камер и целиков при принятых системах разработки

Наименование конструктивных элементов системы	Система разработки	
	Этажное обрушение	Подэтажные штреки
1. Ширина камеры, м	20	10
2. Длина камеры, м	45	60
3. Ширина междукammerного	10	8
4. Толщина потолочины, м	5	4
5. Толщина днища, м	8	6
6. Толщина междуэтажного	13	10
7. Расстояние между дучками, м	6-10	6

В настоящее время существуют различные методы выемки целиков и ниже в таблице 2 приводится их классификация.

Таблица 2. Классификация методов выемки целиков

Классы (признак - способ поддержания очистного пространства)	Методы (признак - состояние камер к началу выемки целиков)
I. Выемка целиков с обрушением руды и вмещающих пород(с массовым обрушением).	1. Выемка целиков при открытых камерах. 2. Выемка целиков при замагазинированных камерах. 3. Выемка целиков при обрушенных камерах.
II.Выемка целиков с искусственным поддержание очистного пространства.	1. Выемка целиков при камерах, заполненных твердеющей закладкой. 2. Выемка целиков при камерах, заполненных сыпучей закладкой.

В нашем случае для выемки целиков на руднике Макмал будут рассмотрены два метода : выемка целиков при открытых камерах и выемка целиков при замагазинированных камерах.

Системы разработки с открытым очистным пространством имеют довольно широкое распространение. В этот класс входят системы разработки, при которых очистное пространство в процессе выемки остается открытым и его поддержание осуществляется рудными целиками или простейшими видами крепи. После отработки пространство блока заполняют обрушенными пустыми породами или закладочным материалом.

Как известно при малой и средней мощности залежей, где разработку ведут по простиранию, в целиках остается 15-40% запаса блока. В мощных залежах, разрабатываемых в крест простирания, относительный запас целиков составляет 40-65%. Если целики погашать с большим отставанием от выемки камер, происходит накапливание целиков, что влечет за собой деконцентрацию работ и значительно затруднит выемку целиков, так как они успевают деформироваться. Поэтому, как правило, при открытых камерах целики должны отрабатываться сразу вслед за камерами.

Для правильного развития горных работ годовая добыча из камер и целиков должна быть пропорциональна их запасам.

Следовательно, в мощных залежах приблизительно половина годовой добычи руды должна приходиться на камеры и половина на целики (исключая период начала работ, когда отрабатывают первые камеры, и период затухания работ , когда погашаются оставшиеся еще целики.

Обязательным условием для применения метода выемки целиков при открытых камерах является достаточная устойчивость руд и вмещающих пород (коэффициент крепости не менее 7—8). В нашем случае исследования механических свойств горных пород

Макмальского месторождения показали то, что вмещающие породы, отобранные из горных выработок горизонтов штольни № 6,11,10 по данным прочностных характеристик относятся к крепким горным породам, но в трещиноватых и выветрелых зонах их прочность резко снижается, что может отрицательно отражаться на устойчивости стенок и кровли горных выработок, а также на устойчивости висячего и лежащего боков рудного тела. Коэффициент крепости вмещающих пород по шкале М.М. Протоdjяконова варьирует от 3,4 до 17,5. Горные породы, отобранные из рудного тела горизонтов штольни № 6 и 11, по данным прочностных характеристик относятся к средне крепким горным породам, коэффициент крепости руд по шкале М.М. Протоdjяконова варьирует от 3,9 до 6,5. Также можно отметить, что низкая прочность отобранных горных пород рудного тела обусловлена главным образом их трещиноватостью, что негативно может сказаться на устойчивости междукaмерных целиков и потолочин.

Выполненные нами исследования по оценке напряженно-деформируемого состояния целиков при открытых камерах показали:

1. При отработке запасов системой этажного обрушения толщина целика и ширина камеры спроектирована как 10м и 45м соответственно. Расчеты показали то, что сжимающие напряжения в целиках не превышают предельные напряжения, т.е. целики находятся в относительно устойчивом состоянии. Но на потолочину постоянно действует верхняя нагрузка, в результате чего происходит ее просадка, т.е. устойчивость потолочины камер со временем будет снижаться.

2. При отработке системой подэтажных штреков толщина целика и ширина камеры спроектирована как 8м и 60м соответственно. В этом случае, при принятой толщине целика, сжимающие напряжения в целиках достигают 9 МПа, т.е. в 2 раза больше чем при системе

этажного обрушения. И, в результате воздействия верхних нагрузок в потолочинах камер происходит изгиб, который со временем также может привести к внезапному обрушению.

При выемке целиков при открытых камерах существует опасность внезапного самообрушения потолчины уже во время отработки камеры, а также во время подготовительных работ по выемке целиков, так как устойчивость целиков будет снижена за счет дополнительного трещинообразования из-за воздействия взрывов при отработке камер.

Потери и разубоживание при отработке целиков при открытых камерах будут формироваться за счет пустых пород, состоящих из обрушенных пород висячего и лежащего боков рудного тела. Следует отметить, что очистное пространство выше горизонта 2370 не полностью, а лишь частично заполнено пустой породой, т.е. камера после отработки целиков не будет полностью заполнена пустой породой и крайние целики соседней камеры могут при обрушении частично попадать в отработанную камеру, что приведет к потерям руды. Также при массовом обрушении целиков при открытых камерах будут возникать воздушные удары, приводящие к ослаблению массива вокруг горных выработок /2/.

Второй способ отработки камер и целиков, который нами рекомендуется применять на руднике Макмал - это выемка целиков при замагазинированных камерах. В этом случае к выемке целиков приступают тогда, когда камеры полностью отбиты и заполнены отбитой рудой. Междуетажный целик (днище горизонта 2370, потолчину горизонта 2310), пробуренный со скреперного штрека сверху вниз можно отработать вместе с надштрековыми целиками горизонта штольни №6 (которые уже пробурены и подготовлены) после частичного выпуска замаганизированной в камерах руды, обрушая на замагазинированную руду, междукamerные целики

отрабатывают в окружении замагазинированной руды путём послойного разрушения целика сверху вниз или массового обрушения после нижней подсечки (рис.1).

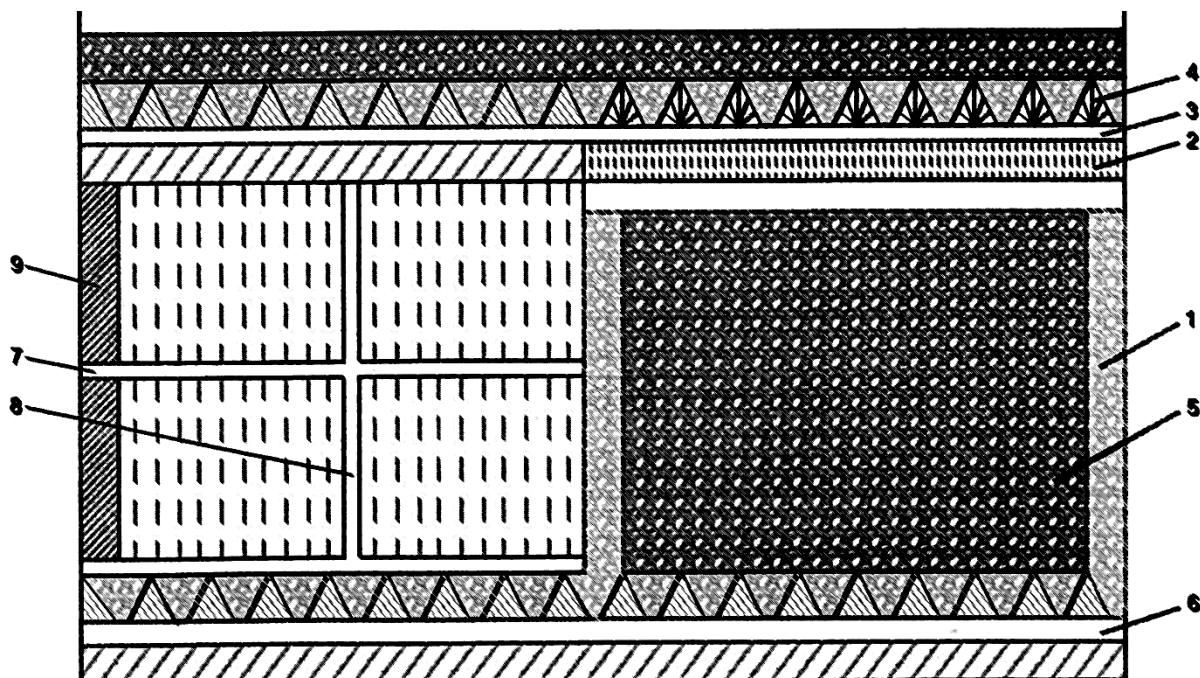


Рис.1. Выемка целиков при замагазинированной камере:

1,9 - междукamerный целик; 2 - междуэтажный целик;

3,6 – скреперный штрек; 4 - надштрековый целик;

5 - замагазинированная руда в камере;

7- подэтажный штрек; 8 - отрезная щель.

Руду, отбитую из камер и целиков, выпускают вместе. По мере общего выпуска руды, обрушенные вмещающие породы частично заполняют выработанное пространство.

При выемке целиков при замагазинированных камерах можно отрабатывать сразу большее число камер и соответственно большее число целиков. При этом выигрышным моментом является отсутствие воздушных ударов при обрушении потолочин и междукamerных целиков, так как отбойка идет в зажиме, уменьшается динамическая нагрузка на массив вокруг выработок. Потери и разубоживание руды при магазинировании руды в камерах при выемке целиков будут ниже,

чем при выемке целиков при открытых камерах за счёт того, что пустые породы на контакте рудного тела будут меньше смешиваться с рудой, а налегающие вмещающие породы будут отделены от выпускаемой руды. Магазинирование при выемке камер с массовым обрушением целиков снижает потери и разубоживание также за счёт более благоприятных условий выпуска обрушенной руды.

В заключении можно отметить то, что в результате оценки геомеханического состояния породного массива Макмальского рудника было установлено то, что наиболее безопасным и рациональным методом выемки целиков, который мы рекомендуем использовать на руднике Макмал, является метод выемки целиков при замагазинированных камерах, так как целики горизонта 2310 состоят из трещиноватых и недостаточно устойчивых пород, а применение скважинной отбойки при отработке камер будет приводить к ослаблению их устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабочий проект на отработку запасов горизонта 2310 м, штольни 11 месторождения Макмал. ПИЦ «КЕН-ТОО», Бишкек, 2012 г.
2. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом—Б.:Шам, 2000.—288 с.
3. Именитов Р.В. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. М.:Недра, 1984. 504 с.
4. Борисов А.А. Механика горных пород. Л., 1968.
5. Ильницкая Е.И., Свойства горных пород и методы их определения.- М.: "Недра",- 1969.

УДК 624.15.04

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПУЛЬПЫ И ОСНОВАНИЯ
ХВОСТОХРАНИЛИЩА**

К.Р. Шекеев

Кыргызский государственный технический университет
им. И.Раззакова

Физическое описание задачи.

В настоящее время изучение, прогноз и управление температурными полями в грунтовых средах являются необходимым элементом инженерно-геологического обоснования при строительстве объектов горнодобывающей отрасли в районах распространения вечномёрзлых грунтов. На практике прогноз изменений температурного режима грунтов выполняется приближенными методами [1].

Целью данной работы является построение математической модели, позволяющей качественно исследовать взаимовлияние температурных полей пульпы и основания хвостохранилища.

Постановка задачи.

В работе не рассматривается фазовый переход, а рассматривается математическая модель распространения тепла в грунте. В процессе эксплуатации золоторудной фабрики в хвостохранилище сбрасываются отходы в виде жидкой массы, где в большинстве случаев около 55% этой массы составляет жидкость,

остальные 45% составляют мелкодисперсные твердые частицы в виде пульпы. Так как пульпа поступает в виде жидкой массы, придонный слой воды имеет положительную температуру.

Под влиянием положительной температуры придонного слоя воды происходит оттаивание мерзлого грунта. В начальный момент времени грунт считается мерзлым. Требуется исследовать распространение тепла в грунтах при различных случаях: при различных значениях начальной температуры пульпы и температуры грунта основания хвостохранилища.

Изучению процесса теплопереноса посвящены многие работы известных ученых А.И. Воейкова, В.Н. Будыко, Г.М. Фельдмана, Н.А. Цытовича, А.В. Павлова и др. В большинстве этих работ процесс теплопереноса моделируется отдельно для талой и мерзлой зоны грунта, а на границе этих зон учитывается фазовый переход.

В данной работе рассматривается перенос тепла отдельно для зоны отложения пульпы и отдельно для зоны грунта основания хвостохранилища, а на стыке границ области ставится условие непрерывности температуры грунта. Математическая модель приведена ниже.

$$C_{II}\rho_{II}\frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{II}\frac{\partial T_1}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{II}\frac{\partial T_1}{\partial y}\right) \quad (1)$$

$$C_I\rho_I\frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_I\frac{\partial T_2}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_I\frac{\partial T_2}{\partial y}\right) \quad (2)$$

$$\lambda\frac{\partial T_2}{\partial t} = 0 \quad (x, y) \in \Gamma_1 \quad (3)$$

$$T_2(x, y, t) = -2^\circ C \quad (x, y) \in \Gamma_2 \quad (4)$$

$$T_1(x, y, t) = +6^\circ C \quad (x, y) \in \Gamma_3 \quad (5)$$

$$T_1(x, y) = T_2(x, y) \quad (x, y) \in \Gamma_4 \quad (6)$$

$$T_1(x, y, t) = +8^\circ C \quad (x, y) \in \Gamma_5 \quad (7)$$

$$T_2(x, y, 0) = 0^\circ \text{C} \quad (x, y) \in ABCDEFGH \quad (8)$$

$$T_1(x, y, 0) = 0^\circ \text{C} \quad (x, y) \in KDEFL \quad (9)$$

Коэффициент температуропроводности грунта в данном уравнении считается постоянной, что характеризует однородность грунта. В действительности коэффициент теплопроводности является переменной величиной, т.к. при промерзании и протаивании теплофизические свойства одного и того же грунта изменяются. По глубине залегания составы грунта изменяются. Поэтому коэффициент теплопроводности должен быть переменной величиной, зависящей от пространственной и временной координаты (1), (2).

Схематический чертеж области приведен на рис. 1. Область представляет собой форму размерами 100x1000 м, глубина под основанием хвостохранилища составляет 40 м., высота отложения пульпы принята равной 20 м. На границе двух сред ставится условие непрерывности температуры (Γ_4), на боковых границах области ставится условие отсутствия теплового потока (Γ_1), на дне пульпы $+6^\circ\text{C}$ (Γ_3), на дневной поверхности $+8^\circ\text{C}$ (Γ_5), а на глубине 40 м. от основания хвостохранилища ставится условие вечной мерзлоты (Γ_2). Численная реализация данной математической модели выполнена в пакете Comsol Multiphysics [3]. Программа способна рассчитать температурное поле в заданной области. В проведенном численном эксперименте физические свойства грунтов учитывались в следующем предположении: тело плотины состоит из сухого грунта, физические свойства пульпы принимались как усредненное значение физических свойств шлака. Теплофизические характеристики грунтов взяты из известных табличных данных [4].

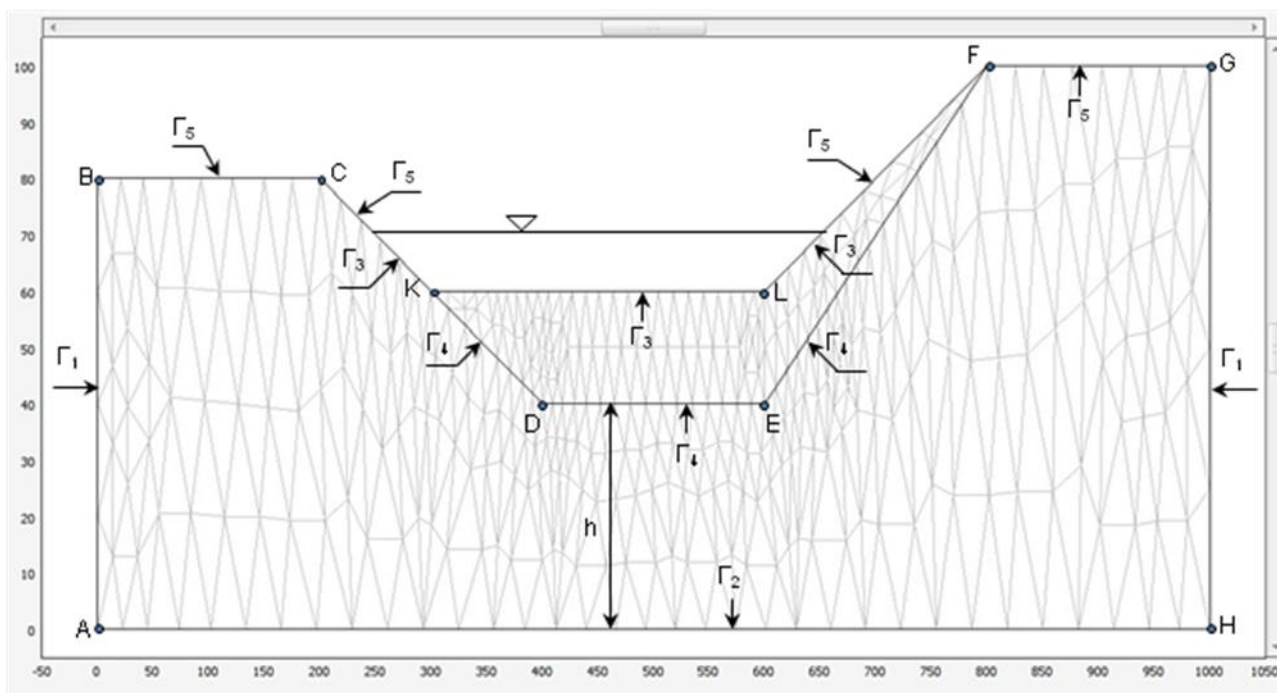


Рис. 1. Расчетная область модели

Для исследования взаимовлияния температурных полей пульпы и основания хвостохранилища проведен следующий численный эксперимент.

1. Проведено вычисление поля температуры грунта области в самом начале, когда еще нет поступления пульпы, а начальное значение температуры грунта области была равна 0. В этом случае, за один год плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания (Γ_4) на 11,1 метров под воздействием температуры дневной поверхности, равной $+8^\circ\text{C}$.

2. Проведено вычисление, когда начальная температура области пульпы равна 0°C , высота отложения пульпы равна 20 м., начальная температура области основания хвостохранилища считалась равной 0°C . Температура придонного слоя воды считалась равной $+6^\circ\text{C}$ (рис. 2). В этом случае, за один год плюсовая температура распространилась от верхней границы пульпы (Γ_3) на 9,1метров. Это означает, что в случае когда высота пульпы равна 20 м., то зона таяния не достигнет основания хвостохранилища. Результаты

расчета хорошо согласуются с данными расчетов на основе другой модели [2]. Так как пульпа поступает в хвостохранилище в виде жидкой массы, начальная температура пульпы не может быть равной нулю.

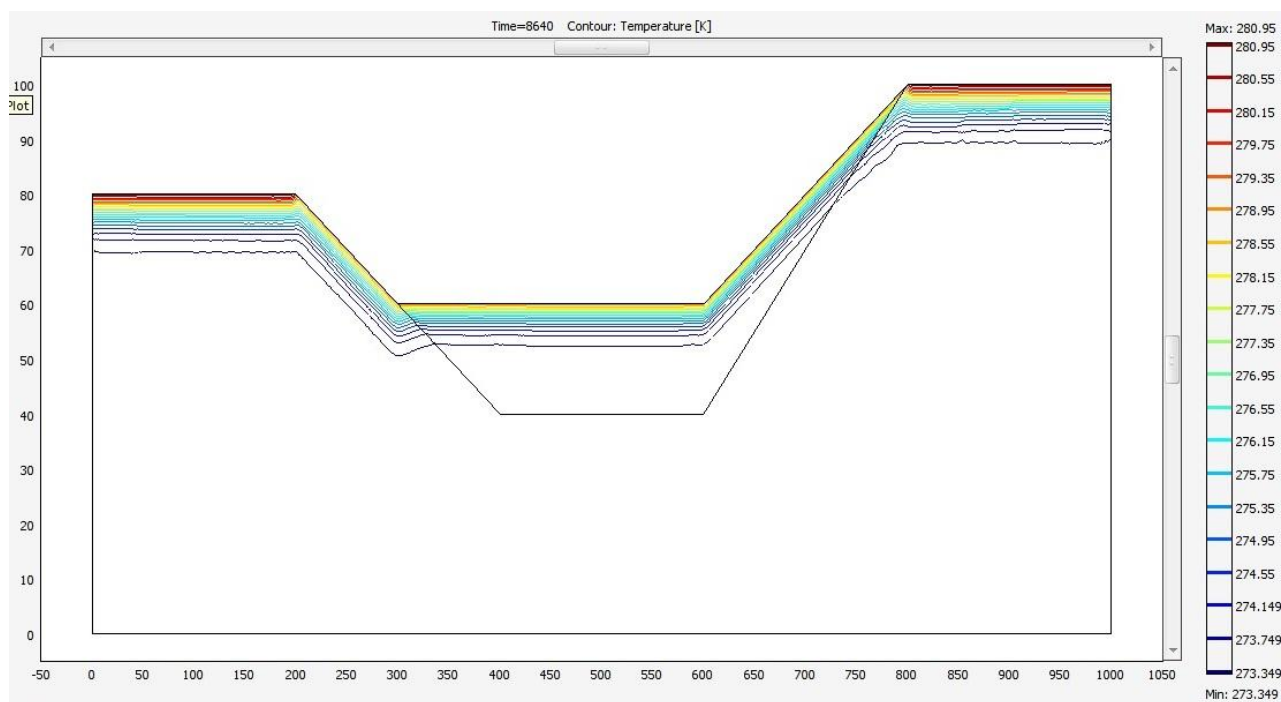


Рис. 2. Поле градиента температуры

Для исследования взаимовлияния температур пульпы и основания тела плотины был проведен численный эксперимент в двух вариантах:

- 1) начальное значение температуры основания плотины была принята равной нулю, а начальное значение температуры пульпы было принято равным $+2^{\circ}\text{C}$ и $+4^{\circ}\text{C}$;
- 2) начальное значение температуры основания плотины была принята равным 0°C , -2°C и -4°C , а начальное значение температуры пульпы было постоянной $+1,5^{\circ}\text{C}$. Остальные параметры расчета были равны с параметрами предыдущего расчета.

Результаты эксперимента показывают, что при мерзлом состоянии тела хвостохранилища изменение начальной температуры пульпы на 2°C приводит к углублению таяния основания хвостохранилища на 7,6 м., последующее увеличение начальной температуры пульпы на 2°C приводит к увеличению глубины таяния на 12%.

Из второго варианта эксперимента следует, что уменьшение начальной температуры основания хвостохранилища на -2°C за один год приведет к увеличению фронта промерзания от дна хвостохранилища на 1,3 метра, последующее уменьшение начальной температуры основания на 2°C приводит к увеличению фронта промерзания на 2,5 метра. Результаты численного эксперимента приведены на рисунках 3 и 4.

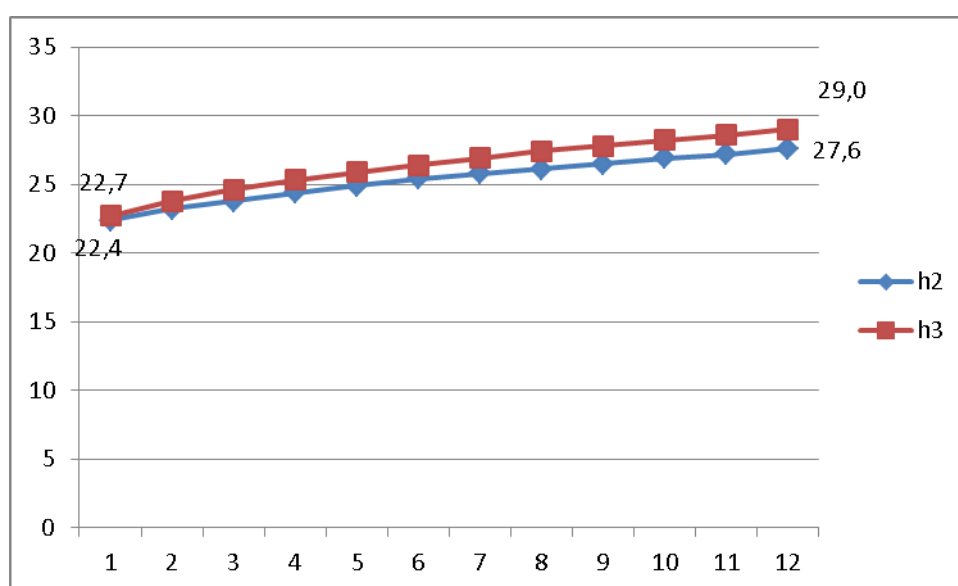


Рис. 3. 1-вариант ($h2 \rightarrow T = +2^{\circ}\text{C}$, $h3 \rightarrow T = +4^{\circ}\text{C}$)

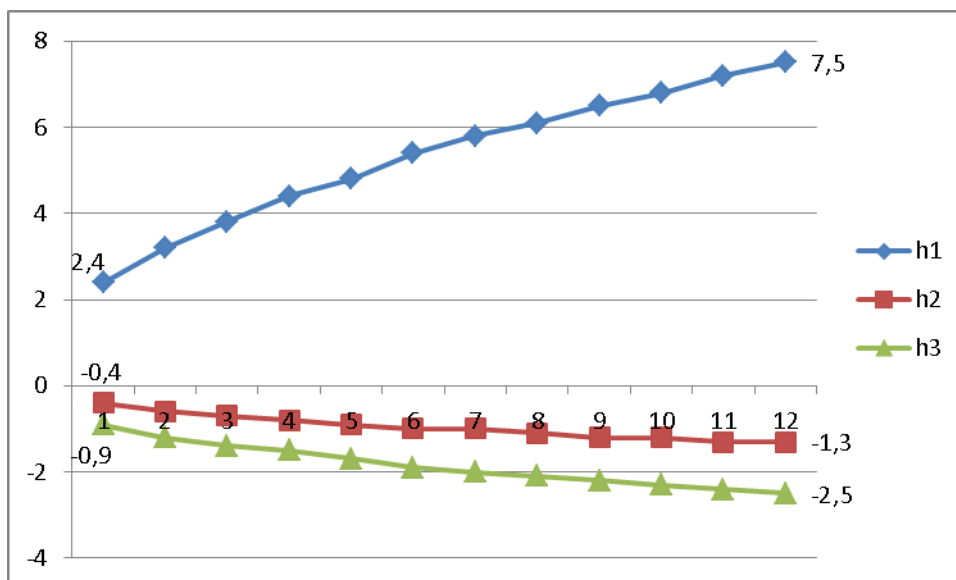


Рис. 4. 2-вариант ($h1 \rightarrow T = 0^{\circ}\text{C}$, $h2 \rightarrow T = -2^{\circ}\text{C}$, $h3 \rightarrow T = -4^{\circ}\text{C}$)

Температурный режим основания хвостохранилища сильно зависит от начального состояния температуры основания хвостохранилища и пульпы. Температуру пульпы можно считать плюсовой, так как при складировании пульпа поступает в виде жидкой массы, а температура воды в потоке плюсовая. Поэтому температурный режим основания сильно зависит от начального состояния температуры основания хвостохранилища. Если начальное значение температуры грунта минусовое, то фронт промерзания будет стягиваться от дневной поверхности, если начальное значение температуры грунта будет плюсовой, то фронт таяния будет углубляться.

Вывод: Складирование отходов в хвостохранилище целесообразно начинать при мерзлом состоянии основания, для того, чтобы не допустить фильтрации отходов через основания хвостохранилища.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крылов Д.А., Мельникова Ю.С. Математическое моделирование распределения температурных полей в криолитозоне // Студенческий научный вестник. Сборник статей четвертой научно-технической выставки «Политехника». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. С.94-97.
2. Джаманбаев М.Дж. Методы решения и идентификация параметров математической модели процессов переноса. - Бишкек: Илим, 1996.- 121 с.
3. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. – Санкт-Петербург.: СПбГУИТМО, 2006.
4. Заручевных И.Ю., Невзоров А.Л.. Механика грунтов в схемах и таблицах. – М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2007.

УДК 533 (075.8), 519.6

**АЛГОРИТМ МЕТОДА КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ДАВЫДОВА ДЛЯ
РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ГАЗОВЗВЕСЕЙ
В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Э.Б. Чечейбаева

КГУСТА им. Н. Исанова

Разработанный крупным российским физиком-вычислителем Ю.М.Давыдовым метод крупных частиц [1, 2 и др.] хорошо себя зарекомендовал себя буквально с момента его разработки, в течение более чем четырех десятилетий, при решении современных задач физики, механики и технологий.

Рассмотрим динамику монодисперсной инертной газовзвесей - двухфазной системы, состоящей из газа и твердых частиц с одинаковым диаметром d . В качестве примера газовзвесей можно привести двухфазные системы, состоящие из воздуха и пылевых частиц, газа и порошка, воздуха и частиц цемента и др.

Для математического описания динамики газа с дисперсными частицами, согласно монографиям академика РАН Р.И. Нигматулина [3] и д.ф.-м.н, проф. А.Г. Кутушева [4], предполагается, что характерные размеры дисперсных частиц и расстояния между ними малы по сравнению с характерными линейными масштабами макроскопического непрерывного течения многофазной среды.

Согласно монографии [4], вводится также ряд допущений: эффекты вязкости и теплопроводности существенны лишь в процессах межфазного взаимодействия; вклад силы Бассэ в общую силу межфазного взаимодействия пренебрежимо мал; отсутствуют внешние массовые силы; изменение внутренней энергии системы, обусловленное работой сил межфазного трения, целиком осуществляется через несущую газовую фазу; дисперсная фаза состоит из твердых несжимаемых частиц сферической формы; эффекты деформации, дробления, столкновения и слипания частиц в потоке малы; отсутствуют процессы межфазного массообмена.

В монографии А.Г. Кутушева [4] была предложена одномерная модель нестационарного движения бесстолкновительной инертной газвзвеси в декартовой системе координат.

Теперь, при принятых выше допущениях, запишем здесь уравнения осесимметричного движения монодисперсной газвзвеси в цилиндрической системе координат:

$$\begin{aligned}
 & r \cdot \frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_1 \cdot u_{1r}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_1 \cdot u_{1z}) = 0, \\
 & r \cdot \frac{\partial \rho_1 u_{1r}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_1 \cdot u_{1r}^2) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_1 \cdot u_{1r} \cdot u_{1z}) + (1 - \beta) \cdot r \cdot \frac{\partial p}{\partial r} = -r \cdot (\beta'' - \beta') \cdot (F_{12})_r, \\
 & r \cdot \frac{\partial \rho_1 u_{1z}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_1 \cdot u_{1r} \cdot u_{1z}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_1 \cdot u_{1z}^2) + (1 - \beta) \cdot r \cdot \frac{\partial p}{\partial z} = -r \cdot (\beta'' - \beta') \cdot (F_{12})_z, \\
 & r \cdot \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_2 \cdot u_{2r}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_2 \cdot u_{2z}) = 0, \\
 & r \cdot \frac{\partial \rho_2 u_{2r}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_2 \cdot u_{2r}^2) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_2 \cdot u_{2r} \cdot u_{2z}) + \beta \cdot r \cdot \frac{\partial p}{\partial r} = -r \cdot \beta'' \cdot (F_{12})_r, \\
 & r \cdot \frac{\partial \rho_2 u_{2z}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_2 \cdot u_{2r} \cdot u_{2z}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_2 \cdot u_{2z}^2) + \beta \cdot r \cdot \frac{\partial p}{\partial z} = -r \cdot \beta'' \cdot (F_{12})_z, \\
 & r \cdot \frac{\partial \rho_2 e_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_2 \cdot e_2 \cdot u_{2r}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_2 \cdot e_2 \cdot u_{2z}) = Q_{12} \cdot r,
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
& r \cdot \frac{\partial \rho_2 (E_1 + E_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_1 \cdot E_1 \cdot u_{1r}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_1 \cdot E_1 \cdot u_{2z}) + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_2 \cdot E_2 \cdot u_{2r}) + \\
& r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (\rho_2 \cdot E_2 \cdot u_{2z}) + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot p \cdot \alpha_1 \cdot u_{1r}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (p \cdot \alpha_1 \cdot u_{1z}) + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot p \cdot \\
& \alpha_2 \cdot u_{2r}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (p \cdot \alpha_2 \cdot u_{2z}) = 0, \\
& \rho_i = \alpha_i \cdot \rho_i^0, \quad E_i = e_i + 0,5 \cdot |u_i|^2 \quad (i = 1, 2); \quad \beta = 1,5 \cdot \alpha_2, \\
& \beta'' = 1 - 1,5 \cdot \alpha_2 - 0,5 \cdot \frac{\rho_1^0}{\rho_2^0}, \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1.
\end{aligned}$$

Здесь система (1) выражает запись законов сохранения массы и импульсов фаз, а также уравнения притоков тепла к фазам и закон сохранения полной энергии всей смеси. В предложенной математической модели индекс 1 внизу соответствует газовой фазе, а 2 - твердой. Через ρ_i , ρ_i^0 , α_i , u_i , E_i соответственно обозначены средняя и истинная плотности, объемное содержание, массовая скорость и полная энергия i – й фазы ($i = 1, 2$); p - давление газа, $F_{i,j}$ и $Q_{i,j}$ – соответственно сила межфазного взаимодействия и интенсивность контактного теплообмена между газом и частицами ($j = 2$); переменные малые параметры β, β', β'' , согласно монографии Р.И. Нигматулина [3], учитывают вклад сил Архимеда и присоединенной массы в общую силу межфазного взаимодействия.

Система дифференциальных уравнений дополняется уравнениями состояния идеального совершенного газа и несжимаемых твердых частиц:

$$\begin{aligned}
p &= (\gamma - 1) \cdot \rho_1^0 \cdot e_1, \quad e_1 = c_1 \cdot T_1 \quad (\gamma, c_1 = \text{const}), \\
\rho_2^0 &= \text{const}, \quad e_2 = c_2 \cdot T_2,
\end{aligned} \tag{2}$$

где γ - показатель адиабаты газа, c_1 и c_2 - соответственно удельные теплоемкости газа и дисперсных частиц при постоянном объеме, T_i - температура i – й фазы ($i = 1, 2$).

Квазилинейная система уравнений в частных производных (1) замыкается полностью путем задания законов межфазного трения и теплообмена [3]:

$$F_{1,2} = \frac{3}{4} \frac{\rho_1^0 \cdot \alpha_2 \cdot C_d \cdot |u_1 - u_2| \cdot (u_1 - u_2)}{d^2}, \quad Q_{1,2} = \frac{6 \cdot \alpha_j \cdot Nu_{1,2} \cdot \lambda_1 \cdot (T_1 - T_j)}{d^2}, \quad (3)$$

где C_d - коэффициент аэродинамического сопротивления твердых сферических частиц с размером d ; $Nu_{1,2}$ - число Нуссельта для потока газа, характеризующее теплообмен между газом и твердыми частицами; λ_1 - коэффициент теплопроводности газа.

Согласно [5], коэффициент аэродинамического сопротивления частиц задается в виде следующих зависимостей, учитывающих посредством функций $\Psi(M_{12})$ и $\varphi(\alpha_2)$, соответственно сжимаемость газового потока и стесненность частиц:

$$\begin{aligned} C_d &= C_d^0(Re_{12}) \cdot \Psi(M_{12}) \cdot \varphi(\alpha_2), \\ C_d^0 &= \frac{24}{Re_{12}} + \frac{4}{Re_{12}^{0,5}} + 0,4 \quad (0 \leq Re_{12} \leq 2 \cdot 10^5), \\ \Psi(M_{12}) &= \left[1 + \exp\left(-\frac{0,427}{M_{12}^{0,63}}\right) \right] \quad (0 \leq M_{12} \leq 2), \\ \varphi(\alpha_2) &= \alpha_1^{k_2} \quad (k_2 = const \sim -2,5) \quad (0 \leq \alpha_2 \leq 0,005), \\ Re_{12} &= \frac{\rho_1^0 \cdot |u_1 - u_2| \cdot d}{\mu_1}, \quad M_{12} = \frac{|u_1 - u_2|}{a_1}, \quad a_1 = \sqrt{\frac{\gamma \cdot p}{\rho_1^0}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $C_d^0(Re_{12})$ - коэффициент сопротивления одиночной твердой сферы, обтекаемой стационарным изотермическим потоком безграничной несжимаемой жидкости; Re_{12} и M_{12} - соответственно числа Рейнольдса и Маха относительно движения частиц разных фракций; a_1 - местная скорость звука газа, μ_1 - динамическая вязкость газа.

Для задания числа Нуссельта газа используется корреляционная зависимость, учитывающая влияние сжимаемости газового потока на межфазный теплообмен:

$$\begin{aligned} Nu_{1,2} &= 2 \cdot \exp(-M_{12}) + 0,459 \cdot Re_{12}^{0,55} \cdot Pr_1^{0,33}, \quad M_{12} \leq 1, \quad \frac{M_{12}}{Re_{12}} \ll 0,1; \\ Pr_1 &= \frac{\gamma \cdot c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1} \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь Pr_1 и λ_1 - число Прандтля и теплопроводность газа.

Изложим ниже вычислительный алгоритм метода крупных частиц Давыдова для расчета динамики газа и твердых частиц в рамках приведенного выше математической модели (1)-(5).

Область интегрирования покрывается неподвижной в пространстве эйлеровой сеткой в осесимметричной цилиндрической геометрии.

Согласно [1, 2], метод крупных частиц является эйлерово-лагранжевым методом, алгоритм расщепления которого состоит из трех этапов.

Эйлеров этап.

На этом этапе предполагаем, что поле плотности для обеих фаз заморожено. Тогда исходная система (1) сводится к системе уравнений

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \rho_1}{\partial t} &= 0, \quad \frac{\partial \rho_2}{\partial t} = 0, \\
 \frac{\partial \rho_1 u_{1r}}{\partial t} + (1 - \beta) \cdot \frac{\partial p}{\partial r} &= -(\beta'' - \beta') \cdot (F_{12})_r, \\
 \frac{\partial \rho_1 u_{1z}}{\partial t} + (1 - \beta) \cdot \frac{\partial p}{\partial z} &= -(\beta'' - \beta') \cdot (F_{12})_z, \\
 \frac{\partial \rho_2 u_{2r}}{\partial t} + \beta \cdot \frac{\partial p}{\partial r} &= -\beta'' \cdot (F_{12})_r, \\
 \frac{\partial \rho_2 u_{2z}}{\partial t} + \beta \cdot \frac{\partial p}{\partial z} &= -\beta'' \cdot (F_{12})_z, \\
 \frac{\partial \rho_2 e_2}{\partial t} &= Q_{12}, \\
 r \cdot \frac{\partial \rho_2 (E_1 + E_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot p \cdot \alpha_1 \cdot u_{1r}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (p \cdot \alpha_1 \cdot u_{1z}) + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot p \cdot \alpha_2 \cdot u_{2r}) + r \cdot \frac{\partial}{\partial z} (p \cdot \alpha_2 \cdot u_{2z}) &= 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

На эйлеровом этапе для каждой ячейки (i, j) и момента времени $t = t^n$ находим промежуточные значения скоростей и внутренних энергий для каждой из фаз:

$$\begin{aligned}
[\widetilde{u}_{1r}]_{i,j}^n &= [u_{1r}]_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{[\rho_1]_{i,j}^n} \cdot \left\{ -(1 - \beta_{i,j}^n) \cdot \frac{p_{i+\frac{1}{2},j}^n - p_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta r} + ((\beta')_{i,j}^n - (\beta'')_{i,j}^n) \cdot \right. \\
&\quad \left. [(F_{12})_r]_{i,j}^n \right\}, \\
[\widetilde{u}_{1z}]_{i,j}^n &= [u_{1z}]_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{[\rho_1]_{i,j}^n} \cdot \left\{ -(1 - \beta_{i,j}^n) \cdot \frac{p_{i,j+\frac{1}{2}}^n - p_{i,j-\frac{1}{2}}^n}{\Delta z} + ((\beta')_{i,j}^n - (\beta'')_{i,j}^n) \cdot \right. \\
&\quad \left. [(F_{12})_z]_{i,j}^n \right\}, \\
[\widetilde{u}_{2r}]_{i,j}^n &= [u_{2r}]_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{[\rho_2]_{i,j}^n} \cdot \left\{ -\beta_{i,j}^n \cdot \frac{p_{i+\frac{1}{2},j}^n - p_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta r} + (\beta'')_{i,j}^n \cdot [(F_{12})_r]_{i,j}^n \right\}, \\
[\widetilde{u}_{2z}]_{i,j}^n &= [u_{2z}]_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{[\rho_2]_{i,j}^n} \cdot \left\{ -\beta_{i,j}^n \cdot \frac{p_{i,j+\frac{1}{2}}^n - p_{i,j-\frac{1}{2}}^n}{\Delta z} + (\beta'')_{i,j}^n \cdot [(F_{12})_z]_{i,j}^n \right\}, \\
[\widetilde{E}_1 + \widetilde{E}_2]_{i,j}^n &= [E_1 + E_2]_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{r_i \cdot [\rho_2]_{i,j}^n} \cdot \left[\frac{r_{i+\frac{1}{2}} \cdot p_{i+1/2,j}^n \cdot (\alpha_1)_{i+\frac{1}{2},j}^n \cdot (u_{1r})_{i+\frac{1}{2},j}^n}{\Delta r} - \right. \\
&\quad - \frac{r_{i-\frac{1}{2}} \cdot p_{i-1/2,j}^n \cdot (\alpha_1)_{i-\frac{1}{2},j}^n \cdot (u_{1r})_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta r} + \frac{r_i \cdot p_{i,j+1/2}^n \cdot (\alpha_1)_{i,j+1/2}^n \cdot (u_{1r})_{i,j+1/2}^n}{\Delta z} - \\
&\quad - \frac{r_i \cdot p_{i,j-1/2}^n \cdot (\alpha_1)_{i,j-1/2}^n \cdot (u_{1r})_{i,j-1/2}^n}{\Delta z} + \frac{r_{i+\frac{1}{2}} \cdot p_{i+1/2,j}^n \cdot (\alpha_2)_{i+\frac{1}{2},j}^n \cdot (u_{2r})_{i+\frac{1}{2},j}^n}{\Delta r} - \\
&\quad - \frac{r_{i-\frac{1}{2}} \cdot p_{i-1/2,j}^n \cdot (\alpha_2)_{i-\frac{1}{2},j}^n \cdot (u_{2r})_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta r} + \frac{r_i \cdot p_{i,j+1/2}^n \cdot (\alpha_2)_{i,j+1/2}^n \cdot (u_{2r})_{i,j+1/2}^n}{\Delta z} - \\
&\quad \left. - \frac{r_i \cdot p_{i,j-1/2}^n \cdot (\alpha_2)_{i,j-1/2}^n \cdot (u_{2r})_{i,j-1/2}^n}{\Delta z} \right]
\end{aligned}
\tag{7}$$

На лагранжевом и заключительном этапах метода крупных частиц находим новые значения распределений параметров двухфазного потока для каждой эйлеровой ячейки в новый момент времени $t = t^{n+1}$. Соответствующие разностные схемы последующих двух этапов метода крупных частиц запишутся так:

$$\begin{aligned}
r_i \cdot (\rho_1)_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta r \cdot \Delta z &= r_i \cdot (\rho_1)_{i,j}^n \cdot \Delta r \cdot \Delta z + (\Delta M_1)_{i-\frac{1}{2},j}^m - (\Delta M_1)_{i+\frac{1}{2},j}^m + \\
&\quad (\Delta M_1)_{i,j-1/2}^m - (\Delta M_1)_{i,j+1/2}^m
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta r \cdot \Delta z &= r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^n \cdot \Delta r \cdot \Delta z + (\Delta M_2)_{i-\frac{1}{2}}^m - (\Delta M_2)_{i+\frac{1}{2}}^m + \\
&(\Delta M_2)_{i,j-1/2}^m - (\Delta M_2)_{i,j+1/2}^m \quad ; \\
r_i \cdot (\rho_1)_{i,j}^{n+1} \cdot (u_{1r})_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta r \cdot \Delta z &= r_i \cdot (\rho_1)_{i,j}^n \cdot (\widetilde{u}_{1r})_{i,j}^n \cdot \Delta r \cdot \Delta z + (\widetilde{u}_{1r})_{i-1/2,j}^n \cdot \\
&(\Delta M_1)_{i-\frac{1}{2}}^m - (\widetilde{u}_{1r})_{i+1/2,j}^n \cdot (\Delta M_1)_{i+\frac{1}{2}}^m + (\widetilde{u}_{1r})_{i,j-1/2}^n \cdot (\Delta M_1)_{i,j-1/2}^m - \\
&(\widetilde{u}_{1r})_{i,j+1/2}^n \cdot (\Delta M_1)_{i,j+1/2}^m \quad ; \\
r_i \cdot (\rho_1)_{i,j}^{n+1} \cdot (u_{1z})_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta r \cdot \Delta z &= r_i \cdot (\rho_1)_{i,j}^n \cdot (\widetilde{u}_{1z})_{i,j}^n \cdot \Delta r \cdot \Delta z + (\widetilde{u}_{1z})_{i-1/2,j}^n \cdot \\
&(\Delta M_1)_{i-\frac{1}{2}}^m - (\widetilde{u}_{1z})_{i+1/2,j}^n \cdot (\Delta M_1)_{i+\frac{1}{2}}^m + (\widetilde{u}_{1z})_{i,j-1/2}^n \cdot (\Delta M_1)_{i,j-1/2}^m - \\
&(\widetilde{u}_{1z})_{i,j+1/2}^n \cdot (\Delta M_1)_{i,j+1/2}^m \quad ;
\end{aligned}
\tag{8}$$

$$\begin{aligned}
r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^{n+1} \cdot (u_{2r})_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta r \cdot \Delta z &= r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^n \cdot (\widetilde{u}_{2r})_{i,j}^n \cdot \Delta r \cdot \Delta z + (\widetilde{u}_{2r})_{i-1/2,j}^n \cdot \\
&(\Delta M_2)_{i-\frac{1}{2}}^m - (\widetilde{u}_{2r})_{i+1/2,j}^n \cdot (\Delta M_2)_{i+\frac{1}{2}}^m + (\widetilde{u}_{2r})_{i,j-1/2}^n \cdot (\Delta M_2)_{i,j-1/2}^m - \\
&(\widetilde{u}_{2r})_{i,j+1/2}^n \cdot (\Delta M_2)_{i,j+1/2}^m \quad ; \\
r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^{n+1} \cdot (u_{2z})_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta r \cdot \Delta z &= r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^n \cdot (\widetilde{u}_{2z})_{i,j}^n \cdot \Delta r \cdot \Delta z + (\widetilde{u}_{2z})_{i-1/2,j}^n \cdot \\
&(\Delta M_2)_{i-\frac{1}{2}}^m - (\widetilde{u}_{2z})_{i+1/2,j}^n \cdot (\Delta M_2)_{i+\frac{1}{2}}^m + (\widetilde{u}_{2z})_{i,j-1/2}^n \cdot (\Delta M_2)_{i,j-1/2}^m - \\
&(\widetilde{u}_{2z})_{i,j+1/2}^n \cdot (\Delta M_2)_{i,j+1/2}^m \quad ; \\
r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^{n+1} \cdot (e_2)_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta r \cdot \Delta z &= r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^n \cdot (\widetilde{e}_2)_{i,j}^n \cdot \Delta r \cdot \Delta z + (\widetilde{e}_2)_{i-1/2,j}^n \cdot \\
&(\Delta M_2)_{i-\frac{1}{2}}^m - (\widetilde{e}_2)_{i+1/2,j}^n \cdot (\Delta M_2)_{i+\frac{1}{2}}^m + (\widetilde{e}_2)_{i,j-1/2}^n \cdot (\Delta M_2)_{i,j-1/2}^m - (\widetilde{e}_2)_{i,j+1/2}^n \cdot \\
&(\Delta M_2)_{i,j+1/2}^m \quad ; \\
r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^{n+1} \cdot (E_1+E_2)_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta r \cdot \Delta z &= r_i \cdot (\rho_2)_{i,j}^n \cdot (\widetilde{E}_1+\widetilde{E}_2)_{i,j}^n \cdot \Delta r \cdot \Delta z + \\
&(\widetilde{E}_1+\widetilde{E}_2)_{i-1/2,j}^n \cdot (\Delta M_2)_{i-\frac{1}{2}}^m - (\widetilde{E}_1+\widetilde{E}_2)_{i+1/2,j}^n \cdot (\Delta M_2)_{i+\frac{1}{2}}^m + (\widetilde{E}_1+\widetilde{E}_2)_{i,j-1/2}^n \cdot \\
&(\Delta M_2)_{i,j-1/2}^m - (\widetilde{E}_1+\widetilde{E}_2)_{i,j+1/2}^n \cdot (\Delta M_2)_{i,j+1/2}^m \quad ;
\end{aligned}$$

Потоки масс через границы эйлеровых ячеек вычисляются, согласно следующим разностным схемам:

$$\begin{aligned}
(\Delta M_1)_{i-\frac{1}{2},j}^n &= \langle r \rangle_{i-\frac{1}{2}} \cdot \langle \rho_1 \rangle_{i-\frac{1}{2},j}^n \cdot \langle u_{1r} \rangle_{i-\frac{1}{2}} \cdot \Delta t, \\
(\Delta M_1)_{i+\frac{1}{2},j}^n &= \langle r \rangle_{i+\frac{1}{2}} \cdot \langle \rho_1 \rangle_{i+\frac{1}{2},j}^n \cdot \langle u_{1r} \rangle_{i+\frac{1}{2}} \cdot \Delta t, \\
(\Delta M_1)_{i,j-\frac{1}{2}}^n &= \langle r \rangle_i \cdot \langle \rho_1 \rangle_{i,j-\frac{1}{2}}^n \cdot \langle u_{1r} \rangle_{i,j-\frac{1}{2}} \cdot \Delta t, \\
(\Delta M_1)_{i,j+\frac{1}{2}}^n &= \langle r \rangle_i \cdot \langle \rho_1 \rangle_{i,j+\frac{1}{2}}^n \cdot \langle u_{1r} \rangle_{i,j+\frac{1}{2}} \cdot \Delta t, \\
(\Delta M_2)_{i-\frac{1}{2},j}^n &= \langle r \rangle_{i-\frac{1}{2}} \cdot \langle \rho_2 \rangle_{i-\frac{1}{2},j}^n \cdot \langle u_{2r} \rangle_{i-\frac{1}{2}} \cdot \Delta t,
\end{aligned}
\tag{9}$$

$$(\Delta M_2)_{i+\frac{1}{2},j}^n = \langle r \rangle_{i+\frac{1}{2}} \cdot \langle \rho_2 \rangle_{i+\frac{1}{2},j}^n \cdot \langle u_{2r} \rangle_{i+\frac{1}{2}} \cdot \Delta t,$$

$$(\Delta M_2)_{i,j-\frac{1}{2}}^n = \langle r \rangle_i \cdot \langle \rho_2 \rangle_{i,j-\frac{1}{2}}^n \cdot \langle u_{2r} \rangle_{i,j-\frac{1}{2}} \cdot \Delta t,$$

$$(\Delta M_2)_{i,j+\frac{1}{2}}^n = \langle r \rangle_i \cdot \langle \rho_2 \rangle_{i,j+\frac{1}{2}}^n \cdot \langle u_{2r} \rangle_{i,j+\frac{1}{2}} \cdot \Delta t,$$

где величины с дробными индексами относятся к границам ячеек. Потоки масс могут вычисляться при использовании формул первого или второго порядка точности [1, 2].

Таким образом, мы привели вычислительный алгоритм метода крупных частиц Давыдова, с помощью которого можно моделировать совместное движение газа и твердых частиц в природе и различных технологических установках.

В настоящее время составляется программа на М-языке системы MATLAB для проведения серии численных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов Ю.М. Крупных частиц метод. В кн.: Математическая энциклопедия. Т. 3. – Москва: Советская энциклопедия, 1982. – С. 125-129.
2. Yuri M. Davydov. Large-Particle Method. In.: Encyclopaedia of Mathematics, vol.5. -Dordrecht/Boston/London: Kluwer academic publishers, 1990, p.p. 358-360.
3. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Часть I. – М.: Наука, 1987. – 464 с.
4. Кутушев А.Г. Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах. – СПб.: Недра, 2003. - 283 с.
5. Carlson D.J., Hoglund R.F. Particle drag and heat transfer in rocket nozzles // Acta Astronaut. 1974. V. 1, №3/4. – P. 361-372.
6. Fox T.W., Rackett C.W., Nicholls J.A. Shock wave ignition of magnesium powders // Proceedings of 11th International symposium «Shock tubes and waves». – Seattle, 1978. – P. 262-268.

УДК 552.12:624.131.54

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

К.Т.Тажибаев, М.Ж.Ормонов, И.Е.Лысенко

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Развитие горнодобывающей отрасли, а также исследования новых проблемных вопросов горной науки требуют глубоких знаний о свойствах и состоянии горных пород. Физико-механические свойства и состояние горных пород являются одним из важных факторов, определяющих конструктивные особенности горнодобывающих машин, их производительность, параметры систем разработки полезных ископаемых, характер различных производственных процессов при добывании полезных ископаемых и их переработке, а также при проведении горных выработок различного назначения /1/.

С начала XX века область горной науки, занимающаяся изучением горных пород и полезных ископаемых применительно к задачам горного дела, сделала довольно серьезные успехи в разработке новых лабораторных и производственных методов исследования физико-механических свойств горных пород. Проведены массовые определения различных показателей свойств горных пород месторождений и гидротехнических сооружений находящиеся на территории Кыргызстана. В выполнении многолетних

исследований принимали участие видные деятели горной науки как Н.И. Ковшов, В.В. Торчинский, А.Б. Жакыпбеков, Ш.А. Мамбетов, Дж. Алымкулов, К.Тажибаев и др. /2/.

С развитием механизации и автоматизации производственных процессов, постепенный переход горных работ на более глубокие горизонты, поиски способов разрушения горных пород с использованием новых видов энергии, а также способов искусственного ослабления или упрочнения горных массивов – все это требует всесторонних знаний о свойствах и состоянии горных пород. В результате экспериментальных работ установлено, что прочностные и деформационные характеристики пород изменяются в зависимости от условий нагружения, размеров и формы образцов, температуры, влажности и пр.

Механические характеристики горных пород являются функциями многих факторов:

- ♦ факторы, зависящие от материала (структура, текстура, минералого-петрографический состав, крупность зерен, состав и свойства цемента и др.);
- ♦ особенности испытываемых образцов (размеры, форма, условия на контактах);
- ♦ внешняя среда (влажность, температура);
- ♦ характер механического нагружения.

На базе лаборатории «Исследования остаточных напряжений и механических свойств горных пород» было разработано программно-техническое обеспечение для определения прочностных и деформационных свойств горных пород, статическим методом. Разработка дает возможность наблюдать деформационных изменений образца, в режиме реального времени. Блок-схема устройств для измерения показана на рис.1.

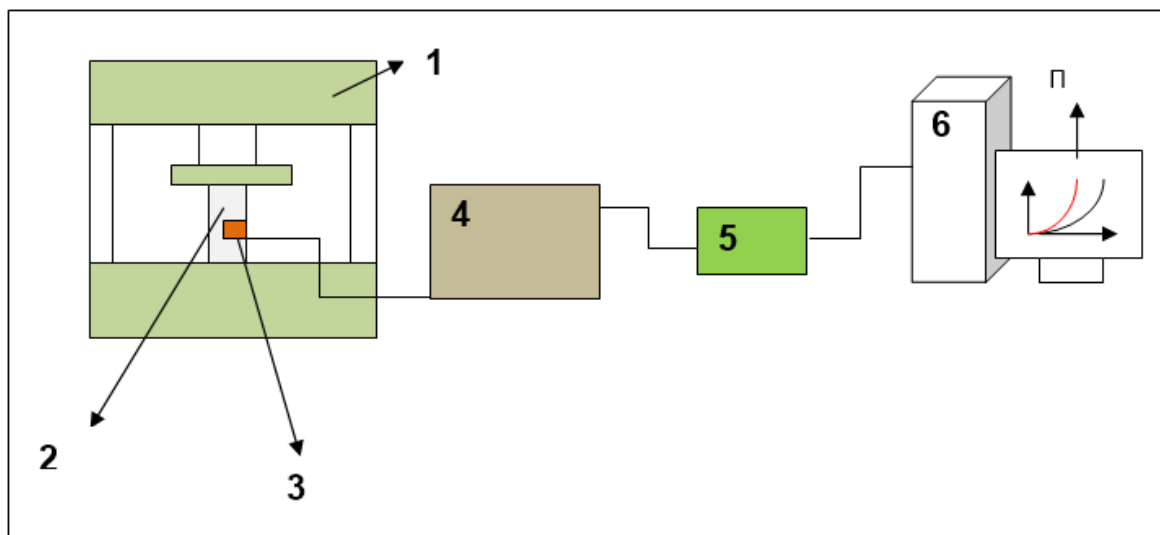


Рис. 1. Блок-схема комплекта устройств для измерения прочностных и деформационных свойств твердых материалов.

При нагружении гидравлическим прессом (1), образец (2) деформируется упруго и за пределами упругости пластически, вместе с деформацией образца изменяется сопротивление тензометрических датчиков (3) приклеенных на образец. Усилитель 8АНЧ-7М (4), с помощью мостовой схемы преобразует изменение сопротивления тензодатчиков под воздействием деформации в изменение напряжения постоянного тока. Аналоговый сигнал на выходе усилителя (4) с помощью аналого-цифрового преобразователя (5) преобразуем в цифровой сигнал для получения результатов измерения на персональном компьютере (6).

Программная часть получила вид, как показано на рис. 2, где график показывает упругую область деформирования образца.

При разработке измерительной системы мы получили опыт для автоматизации измерения деформации и других возможных процессов, происходящих в горных породах.

На практике приходится встречаться с различным характером нагружения горных пород. В большинстве случаев имеют место статические нагрузки, однако в горном производстве имеет место и

динамические нагружения породного массива (бурение, взрывание и т.д.).

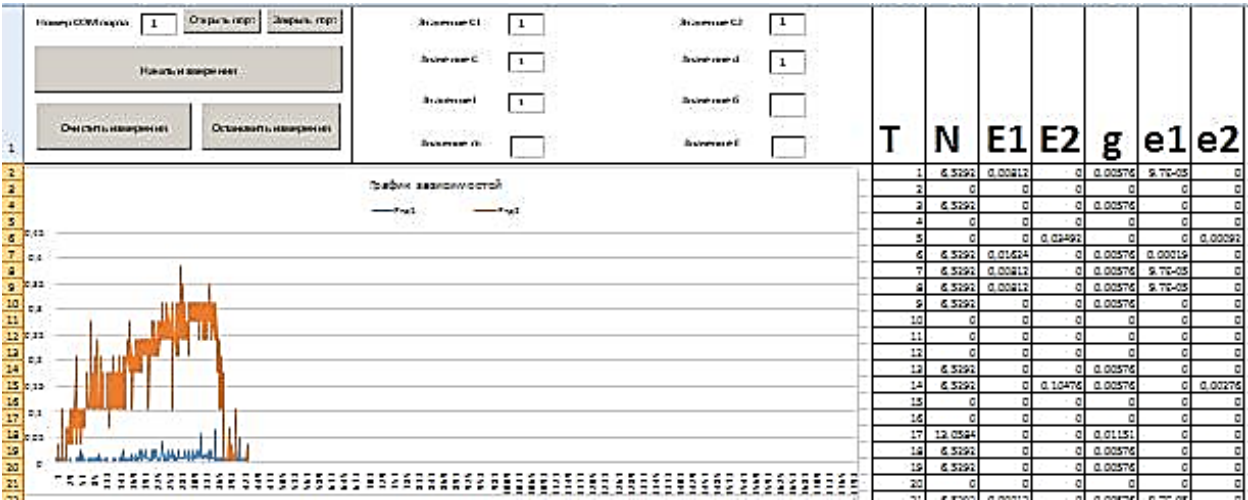


Рис. 2. Внешний вид программной части разработки измерительной системы.

При динамическом нагружении возникают силы инерции, ускорение частиц и волновые процессы. В процессе деформирования может участвовать не весь объем горной породы, а только его часть, обусловленная временем приложения нагрузки и скоростью распространения упругих волн напряжений в среде.

Из результатов исследования свойств упругости горных пород статическим и динамическим методами и при сравнении этих показателей (табл. 1) можно заметить, что они не всегда имеют равноценные значения. В одних случаях динамические показатели имеют большие величины, чем статические, а в других наоборот /1/.

Таблица 1

Результаты исследования упругих свойств горных пород статическим и динамическим методами /1/.

Порода	Модуль упругости, $E \cdot 10^5$, кг/см ²		Коэф-фициент Пуассона		Модуль сдвига, $C \cdot 10^5$, кг/см ²		Модуль объемной упругости, $C \cdot 10^5$, кг/см ²	
	стати-ческий	динами-ческий	стати-ческий	динами-ческий	стати-ческий	динами-ческий	стати-ческий	динами-ческий
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Известняк мраморизированный	7,1	6,0	0,42	0,22	2,50	2,22	14,8	3,6
Гранит-порфирит	6,6	6,4	0,38	0,26	2,40	2,40	9,2	4,4
Магнетит мелкозернистый	8,2	17,2	0,34	0,33	3,1	4,40	8,6	17,3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Песчаник кварцевый	4,5	8,6	0,21	0,42	1,85	1,28	2,6	13,6
Руда железная окисленная	5,2	5,1	0,18	0,35	2,20	1,10	2,7	5,6
Известняк	2,25	5,6	0,29	0,27	1,8	2,20	1,8	4,09
Гранит	2,90	5,6	0,07	0,13	2,80	2,51	1,1	2,61
Оруденелый скарн	8,7	8,1	0,26	0,32	3,45	2,14	6,0	7,5

Сравнение модулей упругости, полученных статическим и динамическим методами, показывает, что динамический модуль упругости в большинстве случаев выше статического; при этом чем больше упругость, тем значительнее эта разница (в некоторых случаях 2 раза). Это объяснялось, до некоторой степени, пластичностью горных пород и методикой проведения испытаний. Значения коэффициента Пуассона, модуля сдвига и модуля объемной

упругости, полученные при статическом и динамическом нагружениях, существенно отличаются между собой. При сравнении можно заметить что между ними существует корреляционная зависимость, например: с увеличением скорости распространения продольной волны также увеличивается плотность горной породы и временное сопротивление сжатию. С увеличением временного сопротивления сжатию, увеличивается и твердость по Шору. Эта зависимость имеет криволинейный характер типа параболы рис. 3 /3/.

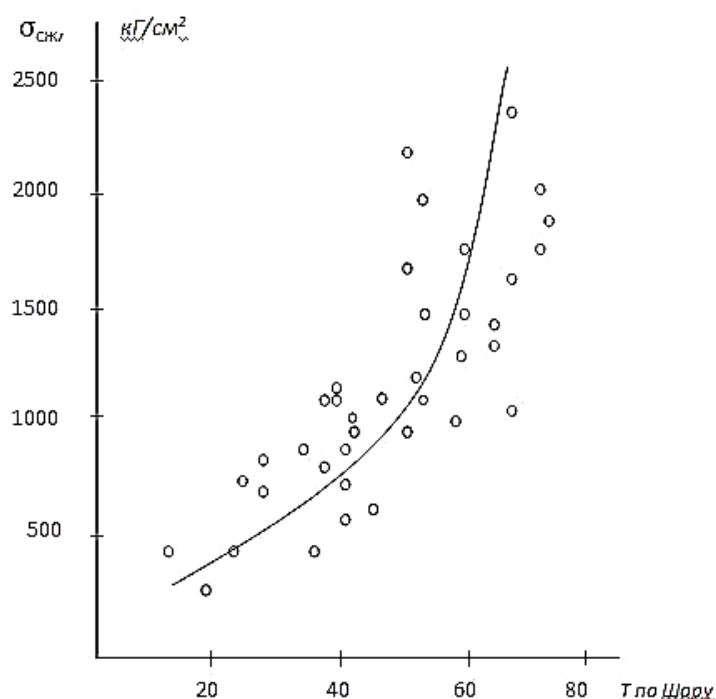


Рис. 3. Зависимость между временным сопротивлением сжатию и твердостью по Шору /3/.

Из приведенных данных видно, что между статическими и динамическими характеристиками горных пород существует корреляционные связи. Однако установить некоторые из этих связей пока еще не представлялось возможным из-за сравнительно небольшого количества экспериментальных данных.

В настоящее время задача сводиться к тому, чтобы накопить как можно больше фактических данных по скоростям прохождения волн в горных породах и по определению их свойств статическим методом.

Большое количество этих данных позволит установить зависимости между различными показателями горных пород, полученными статическим и динамическими методами и установить истинную причину существенной разницы динамических и статических деформационных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильницкая Е. И., Тедер Р.И. Свойства горных пород и методы их определения. «Недра» 1969. 392 с.
2. Терметчиков М.К. Физико-механические свойства горных пород месторождений Киргизии и их корреляционный анализ. «Илим» 1979. 136 с.
3. Ватолин Е.С. Некоторые динамические свойства и природа деформирования горных пород. «Наука» 1966. 61 с.
4. Тажибаев К.Т. Физика горных пород. Методические указания к лабораторным работам. КРСУ 2008.41 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск двадцать первый, 2015 г.

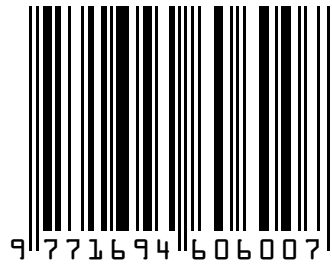
СОДЕРЖАНИЕ

стр

1.	Академику М.М. Адышеву 100 лет	3
2.	АЛЕШИН Ю.Г., ТОРГОВЕВ И.А. Экспериментально –аналитический подход к экспресс-интерпретации геофизических разрезов на оползнях	9
3.	ТЕКЕНОВ А., АСИЛОВА З., ИСМАИЛОВ И., КАНЕТОВА Д. Агротехника выращивания противоэрозионных лесных культур в урочище Олоке-Колот	25
4.	АМАНАЛИЕВ А.А., ЖУМАБАЕВ Б. Напряженное и деформированное состояние полуплоскости от действия нагрузки с возрастающей треугольной эпюрой	34
5.	КОКУМБАЕВА К.А. Влияния изменения уровня воды в водохранилище Токтогульской ГЭС на эксплуатации гидротехнических сооружений	44
6.	ОМУРАЛИЕВ С.Б. Установление влияния степени водонасыщения грунта на процесс испарения	52
7.	НАБИЕВ М.А., ЕРМАГАМБЕТ Б.Т., НУРГАЛИЕВ Н.У. Исследование кинетики процесса термического разложения угля месторождения Сарыадыр (пласт «Надежный»)	61
8.	САБИРОВА Л.Б. Расчетная модель диффузии металлов при псв урана	69
9.	ОРОЗОБЕКОВА А.К., МУРАТБЕКОВ Н. М., БИЙБОСУНОВА Г. И. Разработка базы данных оползней Кыргызстана для расчета устойчивости склонов с применением OST-технологий	79
10.	САБИРОВА Л.Б. Конечные аналитические формулы для естественного процесса самовосстановления пластовых вод	91

11.	ОСМОНКАНОВ А.М., ТУРГУНАЛИЕВ Э.Т., КАРЫБАЛИЕВА К.Т. Решение задачи Коши методом Ньютона	96
12.	ТАЖИБАЕВ К.Т., СУЛАЙМАНОВ Ч.К., ТАЖИБАЕВ Д.К. Горно-технические условия и технология отработки месторождения Джеруй	103
13.	НАБИЕВ М.А., ЕРМАГАМБЕТ Б.Т., НУРГАЛИЕВ Н.У. Расчет процесса слоевой газификации угля месторождения Сарыадыр (пласт «Надежный»)	110
14.	ОСМОНКАНОВ А.М., ТУРГУНАЛИЕВ Э., УРАЛИЕВ А.А., АСАНОВА М.К., ЭРКИНБАЕВ Т. Математическая обработка временных рядов, построенных по сейсмическим данным.	117
15.	ЧУКИН Б.А., КИМ Э.А., ЧУКИН Р.Б. Сравнение вероятностных методов оценки устойчивости геотехнических объектов на примере оползневого склона «Тектоник»	122
16.	ТАЖИБАЕВ Д.К., ТАЖИБАЕВ К.Т., КУВАКОВ С. Ж. Рекомендации по безопасной отработке запасов руды в целиках на руднике Макмал	134
17.	ШЕКЕЕВ К.Р. Численное моделирование взаимовлияния температурных полей пульпы и основания хвостохранилища	141
18.	ЧЕЧЕЙБАЕВА Э.Б. Алгоритм метода крупных частиц Давыдова для расчета динамики газовзвесей в цилиндрической геометрии	149
19	ТАЖИБАЕВ К.Т., ОРМОНОВ М.Ж., ЛЫСЕНКО И.Е. Исследование деформационных характеристик горных пород	157
20	СОДЕРЖАНИЕ.....	164

ISSN 1694-6065



9 771694 606007