



**КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА**

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



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

ВЫПУСК ДЕВЯТНАДЦАТЫЙ

**Сборник трудов, посвященная 60-летию Национальной
Академии наук КР**

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИИ



БИШКЕК-2014



**КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА**

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



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

ВЫПУСК ДЕВЯТНАДЦАТЫЙ

**Сборник трудов, посвященная 60-летию Национальной
Академии наук КР**

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

БИШКЕК-2014

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. Кожоголов, член-корр. НАН КР

Редакционная коллегия:

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

С 56 Современные проблемы механики сплошных сред: Вып.19:
Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии
/Комитет по теорет. и прикл. механике Кыргызстана, Институт
геомеханики и освоения недр НАН КР.-Б.: 2014. - 241. с.

ISSN 1694-6065

Сборник посвящен 60-летию Национальной Академии наук Кыргызской Республики. В сборник включены научные статьи, посвященные современным аналитическим и численным методам решения краевых задач механики сплошных сред, статьи для изучения проблемам гидрогазодинамики, геомеханики массивов горных пород, геотехнологии освоения недр, геоэкологии горнопромышленных регионов. В научных статьях изложены современные состояния решения задач гидрогазодинамики, рассматриваются вопросы экзогенно-геологических процессов и проблемы вычислительной математики и задачам оптимизации управления.

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, 2014

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНОГО СКЛОНА

Ю. Г. Алешин

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Растущий интерес к области искусственных нейронных сетей (ИНС) и их практического применения среди исследователей последних лет связан с тем фактором, что эти самообучающиеся машины имеют превосходные показатели в задачах распознавания образов и моделирования нелинейных зависимостей многомерных динамических систем. Эта работа исследует обоснованность использования ИНС в геотехнической задаче прогноза устойчивости склона путем анализа точности и гибкости метода при использовании реальных массивов данных применительно к механизму круглоцилиндрического, плоскостного и призматического обрушения в грунтах или сильно трещиноватой горной породе скальных склонов; проверки данного метода путем сравнения его результатов с результатами, полученными стандартными инженерными методами и простыми эмпирическими уравнениями с экспертизой относительной важности входных параметров. В качестве объектов исследования использовались оползнеопасные склоны в различных частях мира с известными геотехническими параметрами грунтов, опубликованными в литературе, например /1/. Они дополнены результатами собственных наблюдений на оползнях юго-западного Тянь-Шаня.

Для анализа механизма круглоцилиндрического обрушения использован массив данных, представленный в табл. 1 и состоящий из

54 примеров склонов, в числе которых 26 случаев сухих склонов (степень влажности грунтов $(G < 0.5)$) и 28 влажных ($G > 0.5$); в обоих случаях представлены как стабильные так и обрушенные склоны. Массив данных включал традиционные геотехнические показатели грунтов и геометрические соотношения оползнеопасного склона, широко используемые в расчетах запаса устойчивости $F_{по}$ методом Бишопа, Джанбу, Спенсера и др. /2/: удельный вес (γ), сцепление (c), угол внутреннего трения (φ) грунта, крутизна (β) и высота (H) склона, относительная величина порового давления (Γ'_u), степень влажности (G , две градации). Показатель стабильности (S) оценивался по результатам расчетов запаса устойчивости и результатам обследования оползнеопасного склона: обрушенный (f) и стабильный (s).

База данных, представленная в табл. 1, была использована для обучения (46 данных) и тестирования (8 данных). Объектом обучения явился трехслойный персептрон /3/ с архитектурой сети MLP8-m-1, где количество нейронов в скрытом слое m от 4 до 12 с функцией их активации логистической, экспоненциальной, гиперболической. Из 2000 синтезированных сетей были отобраны для дальнейшего анализа три: F_7 (MLP8-6-1); F_8 (MLP8-5-1); F_9 (MLP8-4-1). Они обеспечивают наибольшую производительность (коэффициент корреляции) по контрольной и тестовой подвыборками, соответственно, наименьшие ошибки прогноза запаса устойчивости (по отношению к аналитическим оценкам F базы данных). Качество прогнозирования можно оценить визуально сравнивая "ход" кривых (рис.1) действительных F и прогнозных F_7 , F_8 , F_9 значений в зависимости от вектора входных переменных, соответствующего номеру № табл.1, или по корреляционному графику связи

Таблица 1. Фрагмент базы данных для анализа механизма
круглоцилиндрического обрушения склона

№	$\gamma(\text{кН/м}^3)$	$c(\text{кПа})$	$\varphi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$H(\text{м})$	Γ_u	G	F	S
1	18,68	26,34	15	35	8,23	0,0 0	>0,5	1,11	f
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
8	14,80	0,00	17	20	50,0 0	0,0 0	>0,5	1,13	f
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
27	20,41	33,52	11	16	45,7 2	0,2 0	>0,5	1,28	f
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
46	18,00	5,00	30	20	8,00	0,3 0	>0,5	2,05	s
47	16,40	12,00	20	22,6	35,0 0	0,0 0	<0,5	1,33	s
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
53	13,88	5,00	26	22,5	152,0	0,1 4	>0,5	1,10 6	s
54	15,60	5,00	23	20	100,0	0,3 3	>0,5	0,99 8	f

действительной (целевой) и прогнозной (выходной) величин, показанный на рис.2. Объективным показателем эффективности функционирования нейросети является функция плотности вероятности (или гистограмма распределения) остатков: $F_{ocm} = F - F_i$, $i=7,8,9$. На рис.3 показана гистограмма распределения F_{ocm} нейросети №7, которую хорошо аппроксимирует нормальное распределение со средним $\bar{F}_{ост} = -0.02$ и среднеквадратичным отклонением $\sigma\{F_{ocm}\} \approx 0,08$. Если в общей совокупности анализируемых

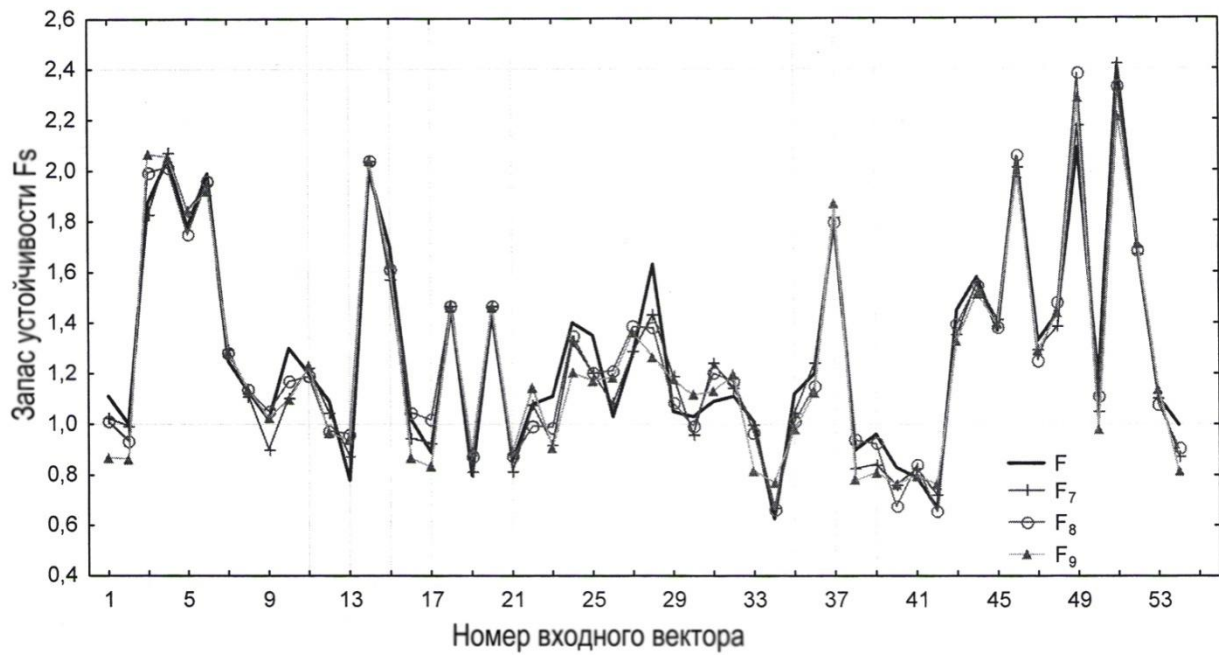


Рис. 1 Аппроксимация нейросетевых прогнозов $F_7F_8F_9$ наблюдаемой величиной запаса устойчивости F по данным входного вектора.

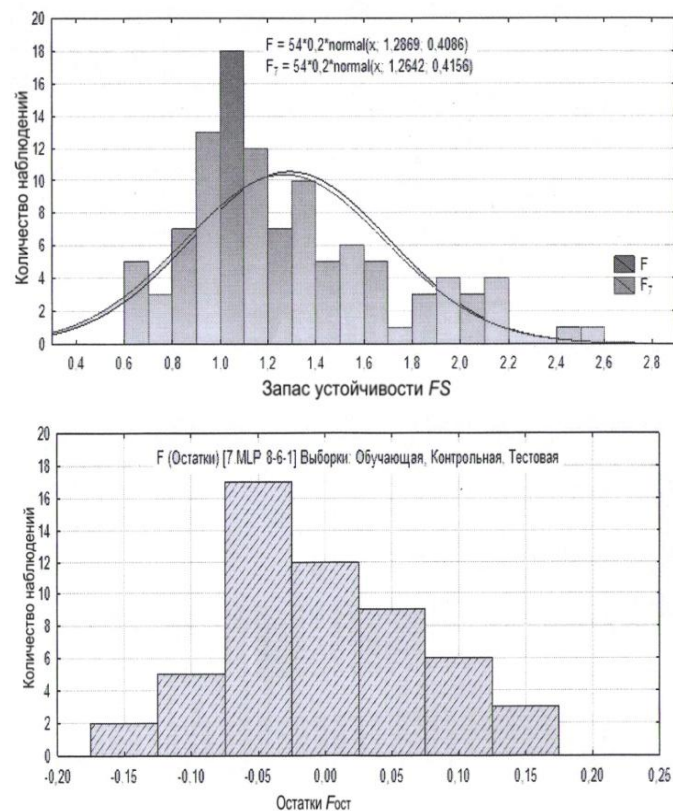


Рис. 2 Распределение запаса устойчивости F_s (наблюдаемого и нейросетевого прогноза) и остатков $F_{ост}$ их сравнения.

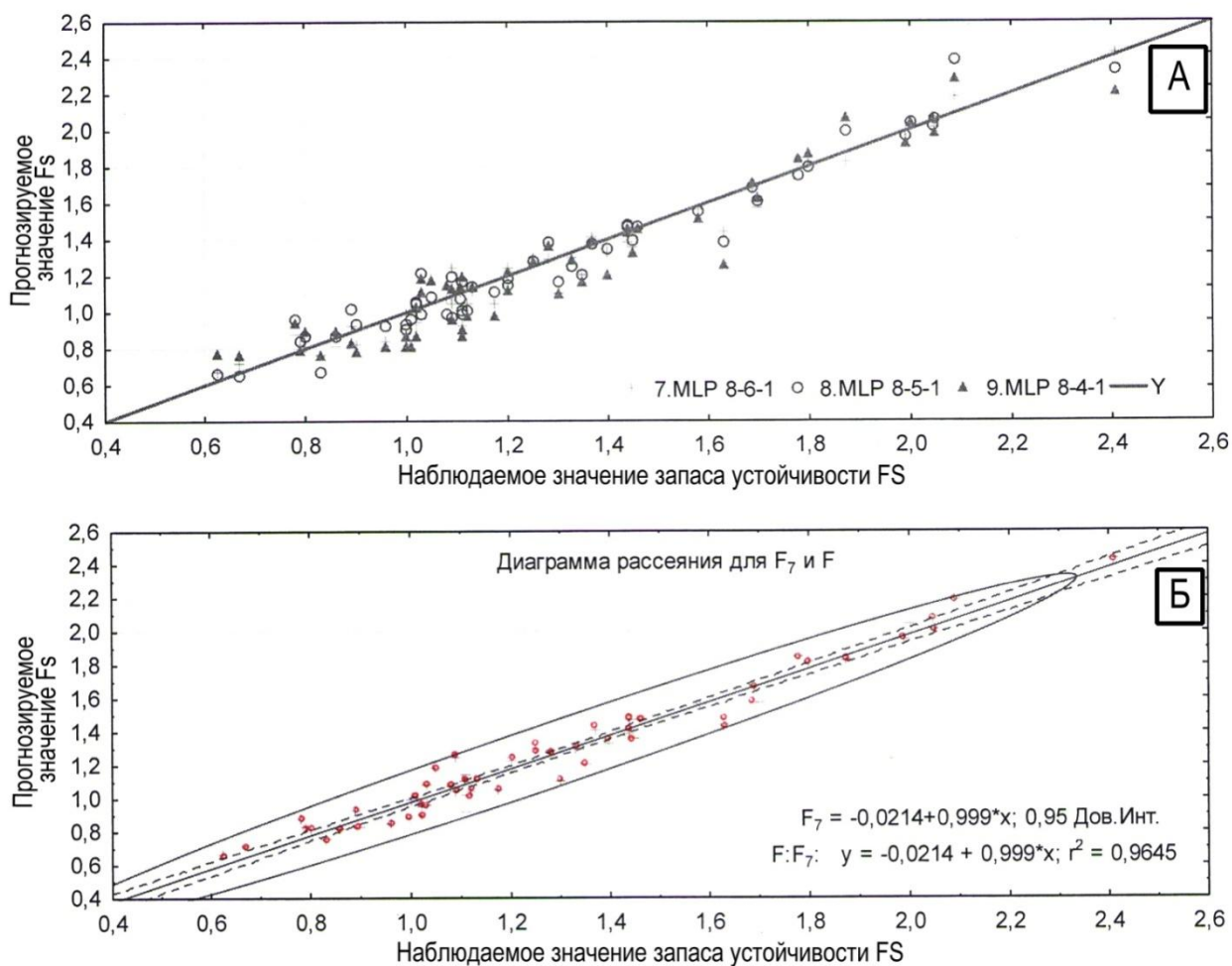


Рис. 3 Корреляционный график взаимосвязи прогнозных и наблюдаемых значений запаса устойчивости F_s : А - по данным трех наилучших ИНС; Б - для ИНС №7.

прогнозных оценок запаса их устойчивости для той же нейросети №7 характеризуется значениями $\bar{F}_{ocm} = 0,027$, $\sigma\{F_{ocm}\} = 0,074$, что подтверждает некоторую разнородность выборок, которая в частности, может быть вызвана различием в критериях оценок или аналитических моделях устойчивости, используемых разными исследователями. В частности, мы использовали оценку F как средний результат расчетов по пяти моделям (Бишоп упрощенный, Джанбуупрощенный и откорректированный, Спенсер, GLE) с расхождением результатов между ними до 6%.

Оценка устойчивости S является решением задачи дихотомии, с которой нейросетевой автомат справляется почти безошибочно. Для решения этой задачи нами вновь использована архитектура трехслойного персептрона. В табл.2 показаны итоги классификации с помощью двух нейросетей, отобранных из 2000 попыток обучения. Одна сеть (MLP8-7-2) безошибочно определяет класс неустойчивых склонов (f) при минимальной ошибке выделения класса устойчивых (s) склонов (1 из 24), вторая сеть (MLP8-11-2), напротив, безошибочно определяет класс устойчивых склонов при минимальной ошибке в классе неустойчивых (1 из 30). Поскольку на практике наиболее опасны ошибки в определении класса неустойчивых склонов, то предпочтение следует отдать сети MLP8-7-2.

Таблица 2. Итоги классификации оползнеопасных склонов по критерию их стабильности S .

Фактическое состояние склона	Нейросеть MLP8-7-2			Нейросеть MLP8-11-2		
	всего	Правильно	Неправильно	всего	Правильно	Неправильно
Всего ($f+S$)	54	53/98,15%	1/1,85%	54	53/98,15%	1/1,85%
Обрушенные (f)	30	30/100%	0/0%	30	29/96,67%	1/3,33%
Стабильные(S)	24	23/95,83%	1/4,17%	24	24/0%	0/0%
Функция активации нейронов: скрытых выходных	гиперболическая софтмакс			экспонента софтмакс		
Функция ошибки	энтропия					

Дополнительная мощная особенность нейронных сетей – их способность выполнять параметрический анализ через обработку промежуточных весовых коэффициентов. Сеть выдает результат по своей чувствительности к каждому входному параметру, что определяет важность его использования для решения прогнозной задачи, а также степень точности, с которой необходимо определять его числовое

значение. После нормирования показателей чувствительности десяти наилучших сетей к 1 можно получить относительную важность или ранг входных параметров, использованных для решения двух рассмотренных выше прогнозных задач. Средние результаты для 10 наилучших сетей представлены на рис.4. для прогноза запаса устойчивости склона F_S в модели его круглоцилиндрического обрушения. Исходные данные по крутизне склона(β)и степени влажности грунтов (G) являются параметрами наибольшего влияния на прогнозную оценку. Тем не менее, отчетливо видно, что и другие входные параметры также важны для данных сетей; при этом минимальное влияние удельного веса грунтов(γ)и величины их сцепления (c).При решении задачи классификации устойчивости склона S наибольшее влияние на процесс распознавание оказывают угол внутреннего трения грунта (φ) и крутизна склона (β), и чрезвычайно малое – удельный вес (γ) и высота склона (H).

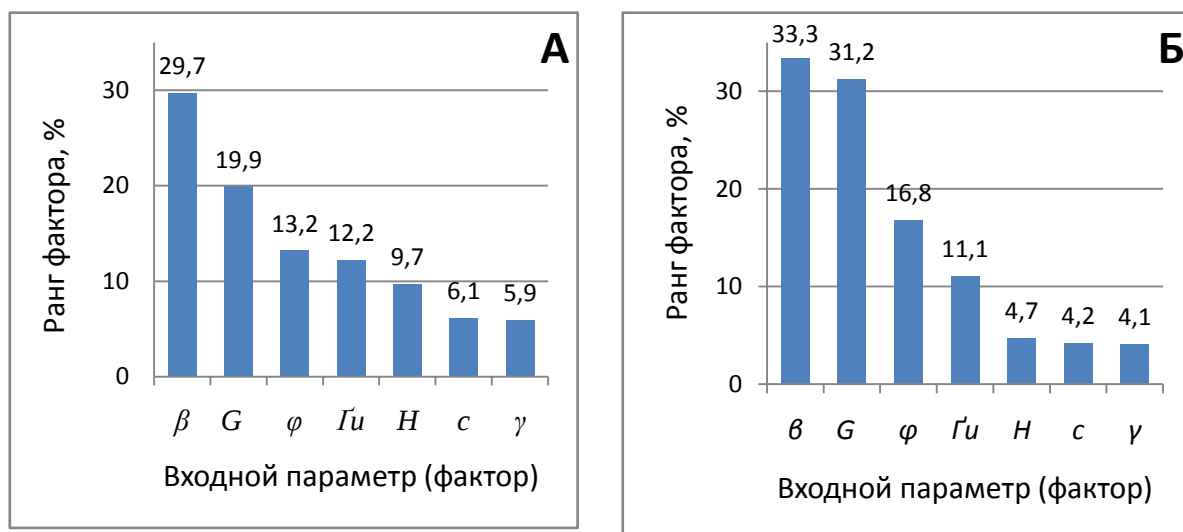


Рис. 4. Относительная важность факторов при решении задачи устойчивости склона(круглоцилиндрическая поверхность скольжения) с применением нейронных сетей: А - прогноз запаса устойчивости F_S ; Б - прогноз устойчивости S .

Результаты, полученные с использованием нейронных сетей на реальных массивах данных для решения задачи оценки устойчивости склона, дали нам возможность сделать некоторые интересные выводы:

- расчетный запас устойчивости, полученный аналитическими методами для эталонного массива данных 54 векторов, сравнивался с прогнозным запасом устойчивости, полученным нейросетевым анализом, а также запасом устойчивости, полученным методом аппроксимации наименьших квадратов /1/, и как оказалось, нейросетевой метод давал лучшую конвергенцию; коэффициент множественной детерминации относительно расчетного метода составил $R^2 > 0,95$, в то время как для метода аппроксимации $R^2 \approx 0,83$;
- анализ чувствительности нейросети хорошо подходит для изучения доминирующих параметров и, как оказалось, корректное ранжирование самых важных параметров; для механизмов кругового обрушения самыми важными параметрами является крутизна склона (β), угол внутреннего трения (φ) и степень влажности грунтов (G), т. е. параметры как геометрии склона, так и свойств слагающих его грунтов. Кроме того отчетливо видно, что другие исходные данные также важны и это – реалистический результат, поскольку все эти параметры состояния образуют основной входной вектор в наиболее распространенных геотехнических задачах.
- разрушение горного склона может произойти по различным причинам или комбинации факторов; некоторые из параметров, связанных в этой нелинейной системе являются количественными, а некоторые описательными. Нейросеть способна воспринимать градации описательных переменных (например, наличие растительности на горном склоне) и это является интересной темой для будущей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sah N.K., Sheorey P.R., Upadhyaya L.N. Maximum Likelihood Estimation of slope stability// Int.J. Rock Mech. Min. Sci&Geomech. Abstr.Vol. 31, №1, 1994 – pp.47 – 53.
2. Оползни. Исследование и укрепление. Под ред. Р. Шустера и Р. Кризека. М.: Мир, 1981- 366с.
3. Васильев В.И. Распознающие системы. Киев.: Наукова думка, 1983 – 422с.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИНАНИЗОТРОПНОГО СТРОЕНИЯ

Баймахан Р., Толобекова Б., Рыспаева А.К.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В природе везде и всюду горные породы ближе к земной поверхности чаще всего имеют наклонные мелкослоистые строения. Это происходит из-за тектонического сжатия и поднятия горной системы Северного Тянь-Шаня со времен плейстоцена горные породы в земной коре имеют явно наклонно-слоистое строение. Это связано с Караойским, Шелеко-Кеминскими и другими синклиналями и Заилийскими, Кунгейскими и другими антиклиналями. Об этом свидетельствуют обнаженные вышедшие на земной поверхности горные породы перевала Кордай, которые имеют чаще различные наклонно слоистое строение, чем горизонтальное. Специально проведенные нами неоднократные наблюдения и визуальные изучения показывают, что величины углов наклонов слоев меняются от 5° до 40° .

Хотя слабое, но заметное наклонно-слоистое строение имеют и обнаженные горные породы-порфиры в районе Капшагайского ГЭС на подступах к плотине.

Явно наклонно-слоистое строение имеет плотина Оравилл ($H=236\text{м}$) в США с упорными призмами из гравия, гальки и камня, переходными зонами из смеси ила, песка, гравия и мелкого камня и центральным, слабо наклоненным ядром из гравелистой глины. Дренажи и фильтры, переходные зоны плотин Беннет, и Мангла тоже имеют наклонно слоистое строение. Наклонное строение, притом с изгибным экраном и

переходными зонами и наклонными набросками камней имеет также плотина Тарбелла. Сюда можно добавить и плотину Беннет (H=183м) Канады, плотину Мангла (H=114м).

Также известно, что горные плотины строятся каменно – набросными или каменно-земляными способами, напластованиями местных геосинтетических материалов. Слои часто имеют горизонтальные строения. Но встречаются и плотины наклоннослоистого строения. Например, самое высокое грунтовое сооружение, построенное в районе сейсмичностью 9 баллов. в мире плотина Нурекского ГЭСа Таджикистана имеет слегка наклоннослоистое строение.

Но к сожалению, отсутствуют какие-либо оценки о влиянии наклонного строения на устойчивость плотин.

Всестороннее изучение состояний вопроса исследованности об устойчивости грунтовых плотин, применяемых современных моделей, классических и существующих методов расчета показывают, что все модели и методы применимы для идеализированной однородной среды. Хотя имеются подходы, рассматривающие неоднородность, но практически все исследователи рассматривают изотропную среду в массиве горных пород. В этом и заключается идеализированности и ограниченности применяемых моделей и существующих подходов.

В действительности в природе грунты и горные породы имеют сильно перемещенную структуру и неоднородные анизотропные строения. На рис.1 показана одна из многочисленных обнаженных взрывом горная порода вдоль автотрассы Алматы-Бишкек в районе Кордайского перевала. Здесь мы видим мелкие и наклонно слоистые горные породы. Точно такие же породы вдоль обеих сторон трассы очень много и без взрывов в виде выветренные палеозойские отложения плейсценового периода.

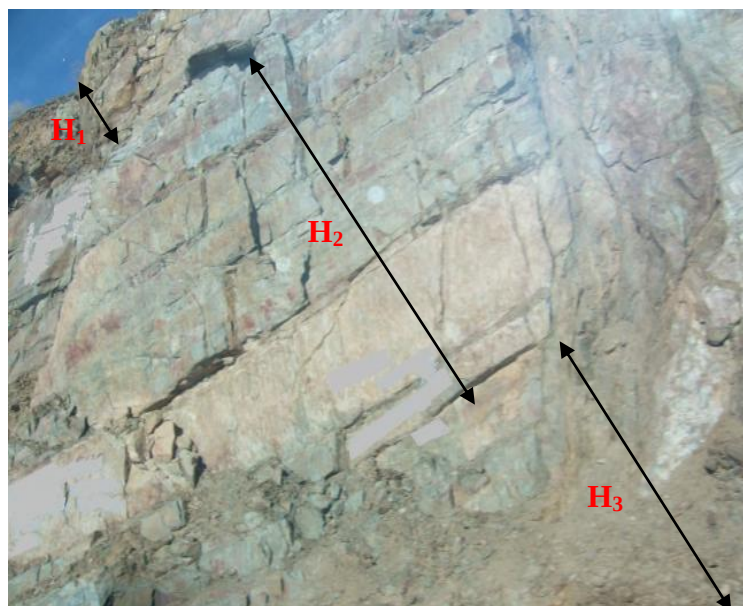


Рис. 1. Пример наклонно-слоистого транстропного строения массива горных пород: H_1 - поверхностные осадочные отложения; H_2 - мелкие слои; H_3 - крупные слои

Поверхностные осадочные толщи, в том числе и грунтовые толщи в областях синклинальных и антиклинальных геологических складок четвертичного периода в предгорных территориях, тоже имеют слоистые анизотропные строения.

Вместе с тем, множество типов защитных грунтовых плотин различается строением и составом пород, размерами и формой, глубиной захвата и геометрией поверхности скольжения. Эти факторы затрудняет создание единой методики и теории количественного прогноза развития оползневого процесса в теле плотины в пространстве и во времени.

Но, в научном отношении, решить задачи устойчивости и прочности инженерных защитных сооружений, состоящие из материалов анизотропного строения существующими аналитическими методами слишком сложно иногда и невозможно.

Если механические свойства изотропной среды определяется только двумя параметрами упругости: модуля Юнга E и коэффициента Пуассона ν , то механические характеристики самой доступной трансверсально изотропной (транстропной) среды, показанной выше на рисунке 1, определяются 5-тью параметрами: двумя модулями Юнга E_1 , E_2 , модулем сдвига- G_2 и двумя коэффициентами Пуассона- ν_1 и ν_2 .

Отсюда очевидно видно необходимость прибегнуть к численным методам с использованием математического аппарата механики сплошной среды и механики грунтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рысбаева А.К., Баймахан Р.Б., Толобекова Б.Т., Авдарсолкызы С., Огеохрогологии Северного Тянь-Шаня. Сб. материалов Международной научно-методической конференции Актуальные вопросы естественно-научных дисциплин МОК КазГАСА Алматы, 2013 г.
2. Рысбаева А.К. Моделирование грунта склона анизотропного строения. Современные проблемы механики сплошных сред. Выпуск 18. Гидрогазодинамика, Геомеханика и геотехнология. Бишкек 2013 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕЙ ГЕРТЛЕРА-ТЕЙЛОРА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ВБЛИЗИ ВОГНУТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Бийбосунов А.И., Жусупбекова С.Т.

КНУ им. Ж.Баласагына, КНАУ им. К.Скрябина

В статье формулируется краевая задача, описывающая нелинейную фазу развития возмущений в сжимаемом пограничном слое в поле центробежных сил при докритических числах Рейнольдса и Гертлера. Эта модель предназначена для описания развития вихрей Гертлера и для возмущенных течений около локальных и периодических в трансверсальном направлении неровностей или других пространственных возмущенных течений.

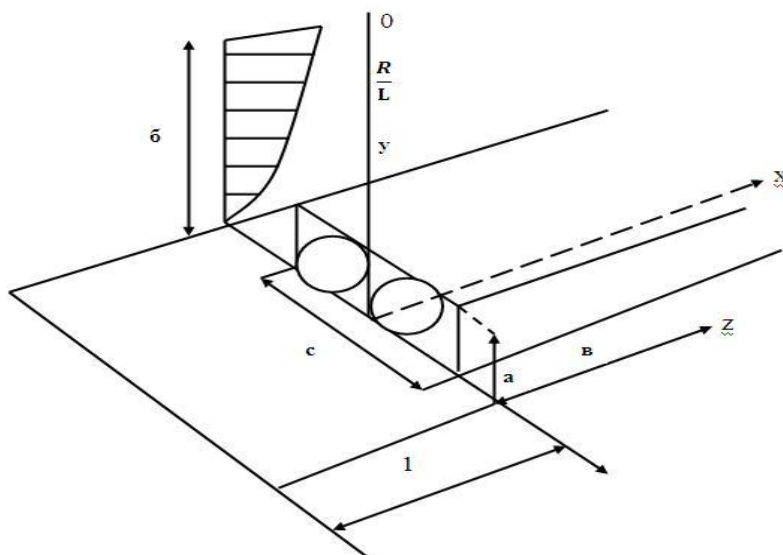


Рис1. Схема исследуемого течения

В криволинейной ортогональной системе координат уравнения Навье – Стокса могут быть записаны в безразмерной форме в следующем виде:

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{1-Ky} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{Ky}{1-Ky} = 0 \quad (9) \\
& \frac{u}{1-Ky} \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{Kuv}{1-Ky} + \frac{1}{1-Ky} \frac{\partial P}{\partial x} = \\
& = \varepsilon^2 \left[\frac{1}{(1-Ky)^2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{K}{1-Ky} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{2K}{(1-Ky)^2} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{K^2 u}{(1-Ky)^2} \right] \\
& \frac{u}{1-Ky} \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{Ku^2}{1-Ky} + \frac{\partial P}{\partial y} = \\
& = \varepsilon^2 \left[\frac{1}{(1-Ky)^2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - \frac{K}{1-Ky} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{2K}{(1-Ky)^2} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{K^2 v}{(1-Ky)^2} \right] \\
& \frac{u}{1-Ky} \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial P}{\partial z} = \\
& = \varepsilon^2 \left[\frac{1}{(1-Ky)^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{K}{1-Ky} \frac{\partial w}{\partial y} \right] \quad (1)
\end{aligned}$$

Координаты X, Y, Z отнесены к L , компоненты скорости U, V, W (вдоль осей координат X, Y, Z соответственно) – к U_∞ , давление P – отнесено к ρU_∞^2 (где ρ - плотность жидкости).

В дальнейшем используются только безразмерные переменные (независимые и искомые).

Предполагается, что кривизна вогнутой поверхности:

$$K = L/R = \varepsilon K < 1, \quad K \sim O(1), \quad \varepsilon < \varepsilon < 1$$

т.е. рассматриваются такие течения, когда число Гертлера велико:

$$G_e = 2 Re^{1/2} L/R \sim O(\varepsilon/\varepsilon) > 1$$

Пусть «а», «b» и «с» - характерные толщина, протяженность и ширина пространственной возмущенной вихревой области течения. Очевидно, эти величины должны быть больше характерной длины

свободного пробега молекул жидкости $O(\varepsilon^2)$, иначе для исследования течения в областях с характерными размерами:

Рассмотрим режим, соответствующий длинам волны вихрей Гертлера λ , сравнимые с толщиной пограничного слоя δ . В этом случае характерные размеры возмущенной области течения совпадают по порядку величины, тогда одинаковые порядки будут иметь и возмущенные величины вертикальной и трансверсальной скоростей $v \sim w$, что следует из уравнения неразрывности и принципа минимального вырождения.

Предположим, что вихри вызывают нелинейные изменения основного течения, тогда $u \sim \Delta u \sim 0$

Нелинейность, проявляющаяся трансверсальном направлении дает

$$w \sim \Delta w \sim (\Delta p)^{\frac{1}{2}}$$

При этом исследуются нелинейные процессы, проявляющиеся в течении с характерным масштабом в направлении координаты z равным λ , что определяет величину градиента давления в поперечном направлении:

$$\frac{\partial p}{\partial y} \sim \frac{\rho u^2}{\kappa}$$

Отсюда $\Delta p \sim \varepsilon \kappa$. Далее $v \sim w \sim \varepsilon^{\frac{1}{2}} \kappa^{\frac{1}{2}}$

Из уравнения неразрывности и данных оценок можно найти продольный размер возмущенной области $x \sim \varepsilon^{\frac{1}{2}} \kappa^{\frac{1}{2}}$

Для дальнейшего анализа важно оценить порядок отношения диффузионного и инерционного членов в уравнении продольного импульса:

$$\frac{\mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}}{\rho u \frac{\partial u}{\partial x}} \sim 0(\varepsilon^{\frac{1}{2}} \kappa^{\frac{1}{2}}) \rightarrow 0$$

Понятно, что в таких условиях не выполнено условие прилипания и поэтому необходимо ввести на дне основной области подслой с толщиной:

$$y \sim \varepsilon^{\frac{3}{4}} \kappa^{-\frac{1}{4}}$$

течение в котором будет описываться системой уравнений трехмерного пограничного слоя. Решение такой системы можно представить в виде:

$$\begin{aligned} x &\approx 1 + \lambda \varepsilon^{-\frac{1}{2}} \kappa^{-\frac{1}{2}} x_\alpha \\ y &\approx \lambda y_\alpha \\ z &\approx \lambda z_\alpha \\ u(x, y, z, \varepsilon) &\approx u_\alpha(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha) + \dots \\ v(x, y, z, \varepsilon) &\approx v_\alpha(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha) \cdot \lambda^{-1} \varepsilon^{\frac{3}{2}} \kappa^{\frac{1}{2}} + \dots \\ w(x, y, z, \varepsilon) &\approx w_\alpha(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha) \cdot \varepsilon^{\frac{1}{2}} \kappa^{\frac{1}{2}} + \dots \quad (2) \\ \rho(x, y, z, \varepsilon) &\approx \rho_\alpha(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha) + \dots \\ H(x, y, z, \varepsilon) &\approx H_\alpha(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha) + \dots \\ P(\gamma \mu_\infty^2)^{-1} + \varepsilon \kappa \rho_\alpha(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha) + \dots \end{aligned}$$

Подстановка этих разложений в систему уравнений Навье – Стокса и совершение предельного перехода при $Re \rightarrow \infty$, $Ge \rightarrow \infty$ приводят к модифицированной системе уравнений Эйлера для трехмерного возмущенного течения.

Отличие полученной системы уравнений от обычной системы уравнений Эйлера состоит в наличии члена в уравнении для поперечного импульса, учитывающего влияние центробежных сил.

Другая особенность связана с отсутствием градиента давления в уравнении продольного импульса. Аналогичным первым интегралом обладает и уравнение для полной энтальпии. Для возмущений малой амплитуды решение системы уравнений можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
u(x) &= u_0(y_\alpha) + \tau u_\alpha(y_\alpha) \sin z_\alpha \exp(i\alpha x_\alpha) + \dots \\
v_\alpha &= \tau v_\alpha(y_\alpha) \exp(i\alpha x_\alpha) \sin z_\alpha + \dots \\
w_\alpha &= \tau w_\alpha(y_\alpha) \exp(i\alpha x_\alpha) \cos z_\alpha + \dots \\
H_\alpha &= H_0(y_\alpha) + \tau G_\alpha(y_\alpha) \exp(i\alpha x_\alpha) \sin z_\alpha + \dots \\
\rho_\alpha &= \rho_0(y_\alpha) + \tau R_\alpha(y_\alpha) \exp(i\alpha x_\alpha) \sin z_\alpha + \dots \\
P_\alpha &= P_0(y_\alpha) + \tau P_\alpha(y_\alpha) \exp(i\alpha x_\alpha) \sin z_\alpha + \dots \\
\tau &\ll 1
\end{aligned} \tag{3}$$

Ограничиваясь нулевым и первым приближением из (2) и (3) можно получить систему обыкновенных дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned}
\alpha \rho_0 u_\alpha + \alpha u_\alpha R_\alpha + \rho_0 v'_\alpha + v_\alpha \rho'_0 - \rho_0 w_\alpha &= 0 \\
\alpha u_0 u_\alpha + v_\alpha u'_0 &= 0 \\
\beta [\alpha u_0 u_\alpha + 2u_0 u'_\alpha] + \frac{1}{\rho_0} P_\alpha u'_0 - \frac{R_\alpha}{\rho_0^2} \rho'_0 &= 0 \\
\frac{1}{\rho_0} P'_0 &= -u_0^2
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\alpha u_0 w_\alpha + \frac{R_\alpha}{\rho_0} = 0$$

$$\alpha u_0 G_\alpha + v_\alpha H'_0 = 0$$

$$H_0 = \frac{\gamma-1}{\rho_0 \mu_\infty^2} + \frac{u_0^2}{2}$$

$$G_\alpha = -\left(1/\left(\frac{1}{\gamma} - 1\right)\mu_\infty^2\right) R_\alpha/\rho_0^2 + u_0 u_\alpha$$

$$\rho_0 = \mu_0^2(u_0^2 \mu_\infty^2) \rho_0 = \rho'_0 v_1(\alpha u_0)$$

где $(\quad)' = \frac{\partial}{\partial y}$.

Если ввести новую переменную $z = \frac{u_0}{u_\alpha}$, то тогда можно свести систему (4) к одному дифференциальному уравнению:

$$z'' + 2z' \left(\frac{\mu'_0}{\mu_0} \right) + z \left(-\beta + 2 \left(\frac{\mu'_0}{\mu_0 \alpha^2} \right) \right) = 0 \tag{5}$$

с граничными условиями:

$$v_1(0) = 0; \quad v_1(\infty) = 0 \quad (6)$$

$$z(\infty) = 0, \quad z(0) = \text{const.}$$

Это уравнение представляет собой задачу на собственные значения. Существует два пути решения уравнения (5) с граничными условиями (6): поиск собственных значений матрицы, получающейся при разностном представлении уравнения (5) второй путь, как результат решения дифференциального уравнения методом Рунте-Кутты.

На рис. 2 и 3, представлены профили скорости z для различных значений φ , μ_∞ , γ .

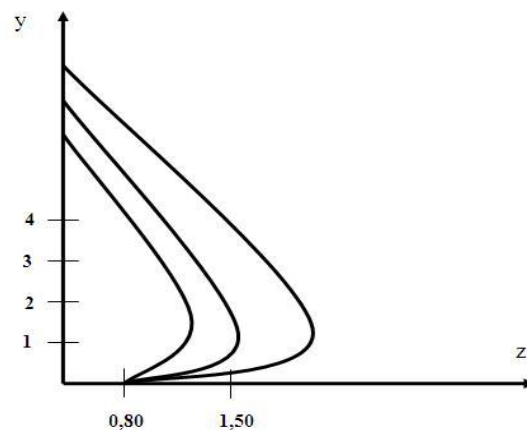


Рис.2. График распределения скорости z при

$$\mu = 0,2, \quad \varphi = 2,5, \quad \gamma = 1,8 \quad \alpha = 15, \quad \beta = 0,01$$

$$\mu = 0,2, \quad \varphi = 0,6, \quad \gamma = 1,8 \quad \alpha = 15, \quad \beta = 0,01$$

$$\mu = 0,2, \quad \varphi = 2,0, \quad \gamma = 1,8 \quad \alpha = 3,5, \quad \beta = 0,01$$

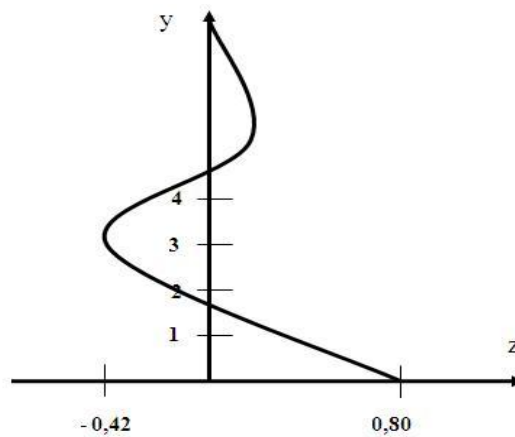


Рис.3. График распределения скорости z при
 $\mu = 1,4$, $\varphi = 1,4$, $\gamma = 1,8$ $\alpha = 15$, $\beta = 0,01$

При этом в нелинейном приближении также численно получены зависимость местного числа Рейнольдса от инкремента роста амплитуды вихрей для первых трех основных вихревых мод.

Таким образом, это позволяет исследовать проблемы перехода ламинарных течений к турбулентным потокам и развития вихрей Гертлера. Данные решения могут найти также теоретическое и практическое применение в таких областях, как авиастроение, в межлопаточных каналах и гидравлических процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / М., изд-во Ин. Лит-ра, 1960.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / М. Гостехиздат, 1957.
3. Бранловская И.Ю., Чудов Л.В. Решения уравнений пограничного слоя разностным методом. Сб. Выч. Методы и программирование / М. 1962.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОТХОДОВ СУМСАР-ШЕКАФТАРСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Жакыпбекова А., Токторалиев Б.А., Кабаева Г.Д.

На территории Кыргызской Республики разведаны и разрабатываются месторождения золота, ртути и сурьмы, редкоземельных элементов, различных видов нерудного сырья. Горнодобывающая отрасль относится к производствам, интенсивно загрязняющим окружающую среду, которые требуют постоянного контроля ее состояния, особенно в районах добычи полезных ископаемых.

В настоящее время отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана приводят к загрязнению окружающей среды, к опасностям негативного воздействия природно-техногенных процессов на экологию регионов. Причем, в этих районах возможны образования оползней, разрушения отвалов, промышленных, социальных и гражданских объектов, прилегающих к горным предприятиям, загрязнения грунтовых и поверхностных вод, изменения состояния атмосферы и т.п. [1]. Все это в конечном итоге может привести к экологической катастрофе.

К одним из основных экологически уязвимых территорий на юге республики относится Сумсар-Шекафтарский горнопромышленный район. Эта местность интенсивно загрязняется отходами горнопромышленного комплекса, которые в большинстве своем являются отходами горнодобывающей и перерабатывающей отрасли. Причем, в результате интенсивного освоения Сумсар-Шекафтарского горнопромышленного района накопилось огромное количество отходов

в виде хвостохранилищ, отвалов, пустых пород, некондиционных руд, оказывающих вредное влияние на состояние окружающей среды [2].

На хвостохранилищах, размещенных на территории данного горнопромышленного района собраны мелкодисперсные отходы переработки и обогащения, в которых содержатся радионуклиды, опасные для здоровья людей соединения тяжелых металлов, различные токсичные вещества, используемые в качестве реагентов при извлечении полезных компонентов минерального сырья. Например, только на руднике Сумсар хвосты обогащения складировались в трех крупных хвостохранилищах. При этом, общий объем отходов обогащения полиметаллических руд составил порядка 3,65 млн.м³. На основе проведенной оценки геомеханического состояния хвостохранилищ Сумсар-Шекафтарского горнопромышленного комплекса показано, что некоторые хвостохранилища полностью размыты (хвостохранилище № 1 Сумсарского рудника) или продолжают размываться (хвостохранилище № 2 Сумсарского рудника), а некоторые устойчивы к механическим воздействиям [2].

На территории Сумсар-Шекафтарского горнопромышленного района наряду с хвостохранилищами образовалось значительное количество отвалов – раздробленных пустых горных пород и некондиционных руд, которые также являются мощными источниками загрязнения окружающей среды. При этом ряд отвалов в п. Шекафтар размещены непосредственно в русле реки Сумсар-Сай, что еще больше усугубляет экологическую обстановку в регионе, вследствие постоянного обрушения откосов водами реки и переносов загрязняющих элементов вниз по течению реки. Некоторые отвалы размещены возле автомобильных дорог. Движение транспорта по ним могут нарушить их устойчивость и привести к разрушению.

За длительное время наземного существования этих отвалов на территории данного промышленного комплекса постоянно происходит

негативное воздействие на окружающую среду. Некоторые отвалы размещены на слабоустойчивых горных склонах, а отвалы некондиционных радиоактивных руд закладированы в пойме рек и на первой надпойменной террасе неосредственно в жилой зоне [3,4].

Анализ геомеханического состояния отвалов Сумсарского, Шекафтарского и Терексайского рудников показал, что устойчивость их, прежде всего, зависит от угла падения поверхности земли, на которых размещены отвалы пород, толщины и влажности прослоев между отвалом и поверхностью земли, на котором он закладирован.

Для оценки напряженно-деформированного состояния отвалов, размещенных на склонах при различных углах ее падения и наличии увлажненного слоя, проведено их численное моделирование на основе метода конечных элементов. При применении метода конечных элементов, рассматриваемая область представляется в виде совокупности дискретных плоских или пространственных элементов. При этом, в отличие от других численных методов, соблюдается ясная физическая трактовка решаемых задач. Вместе с тем необходимость определения свойств каждого элемента в отдельности дает возможность учитывать неоднородность свойств деформируемой области, а также рассчитывать области сколь угодно сложной конфигурации, без принципиальных изменений путей решения [5,6].

Метод конечных элементов позволяет оперировать с элементами различной формы. Однако, для практических задач наиболее удобными оказались треугольные элементы, позволяющие легко оконтуривать расчётные области и сгущать сетку в местах ожидаемых концентраций напряжений или деформаций.

Достоинствами метода конечных элементов являются:

- простота получения конечных решений;

- возможность сгущения сетки элементов, в ожидаемых местах высоких градиентов исследуемого параметра (напряжений или деформаций);
- возможности задания граничных условий в перемещениях или усилиях по какому-либо закону их распространения;
- принципиальная возможность задания в любом элементе модели упругих констант среды, моделирования любой последовательности образования отработанных пространств и схем нагружения модели и т.д.

Для решения двумерной задачи выполняется процесс дискретизации поверхности, который состоит из разбиения на треугольные элементы и нумерации элементов и узлов. Предполагается, что элементы связаны между собой в узловых точках, расположенных на их границах. Основными неизвестными будут перемещения этих узловых точек. Выбирается система, функция, однозначно определяющая перемещения внутри каждого конечного элемента через перемещения узловых точек. Функции перемещений однозначно определяют деформации внутри элемента через узловые перемещения. Эти деформации при известных начальных деформациях и упругих свойствах элемента позволяют определить напряжения как внутри элемента, так и на его границах. Определяется система сил, сосредоточенных в узлах и уравнивающих напряжения на границе и некоторые распределенные нагрузки, а затем записывается соотношение для жесткостей.

Определение значений деформаций $\{\epsilon\}$ и напряжений $\{\sigma\}$ в элементах осуществляется с помощью уравнений

$$\{\epsilon\} = [B] [A]^{-1} \{u\} \quad (1)$$

$$\{\sigma\} = [E][B] [A]^{-1} \{u\}. \quad (2)$$

Где

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; \quad [A] = \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i & 0 & 0 & 0 \\ 1 & x_j & y_j & 0 & 0 & 0 \\ 1 & x_k & y_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_i & y_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_j & y_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_k & y_k \end{bmatrix} - \text{координатная}$$

матрица;

$x_i, y_i, x_j, y_j, x_k, y_k$ – координаты узлов;

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \\ u_k \\ v_i \\ v_j \\ v_k \end{Bmatrix} - \text{вектор узловых перемещений};$$

Для случая плоской деформации матрица $[E]$ представляется в виде

$$[E] = \frac{E}{(1-2\mu)(1+\mu)} \begin{pmatrix} 1-\mu & \mu & 0 \\ \mu & 1-\mu & 0 \\ 0 & 0 & (1-\mu)/2 \end{pmatrix},$$

E – модуль упругости; μ - коэффициент Пуассона .

Деформация элемента, характеризуемая вектором перемещений, обусловлена действием приложенных в узлах сил

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} X_i \\ X_j \\ X_k \\ Y_i \\ Y_j \\ Y_k \end{Bmatrix} - \text{вектор узловых сил.}$$

Взаимосвязь векторов перемещений и узловых сил $\{F\} = [K]\{u\}$, определяет матрица жесткости системы – $[K]$.

Расчеты напряженно-деформированного состояния массива отвалов, размещенных на склонах при различных углах ее падения и

наличия увлажненного слоя были первоначально выполнены на основе метода конечных элементов с помощью программы «Stress», разработанной сотрудниками КРСУ им. Б.Ельцина.

С целью повышения достоверности результатов исследований, аналогичные расчеты были проведены с использованием вычислительного комплекса MatLab, позволяющего реализовать сложные инженерные задачи геомеханики с применением встроенных средств конечно-элементного вычисления, с возможностью графического представления результатов [7].

В результате выполненных исследований установлено, что увеличение крутизны склона, на которой расположен отвал пустых пород от 15° до 45° приводит к появлению под отвалом зоны сжимающих напряжений. При этом размер зоны растягивающих напряжений, расположенный выше отвала снижается в 4,5-5 раз, а значения растягивающих напряжений в данном случае снижается от 0,23 МПа до 0,091 МПа, т.е. уменьшается в 2- 2,5 раза. При наличии увлажненного слоя концентрация горизонтальных напряжений, наблюдаемая в нижних слоях снижается до 4,5-5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошоев М.К. Опасные природные явления Кыргызстана - Бишкек: Илим, 1996.
2. Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. Справочник-словарь –Бишкек: 2009 – 240 с.
3. Жакыпбекова А., Токторалиев Б.А., Кожогулов К.Ч. Геомеханическое состояние отходов Сумсар – Шекафтарского горнопромышленного комплекса.//Современные проблемы механики сплошных сред, выпуск 19, 2013. С.

4. Камчыбеков Д.К. Состояние хвостохранилищ и радиоактивных отвалов, вопросы обеспечения экологической безопасности // Вестник КРСУ, - Бишкек, 2007 – С. 108-111.
5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М. Мир, 1975 - 395с.
6. Фадеев А.В. Метод конечных элементов в геомеханике. М. Недра, 1987, -224с.
7. A.J.M. Ferreira. MATLAB Codes for Finite. Solids and Structures.: Springer Science+Business Media B.V. 236 pp.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУД И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИШТАМБЕРДЫ

Ганиев Ж.М., Кожогулов К.Ч.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Месторождение Иштамберды открыто в 1934г. как объект с золотым оруденением, локализованным в кварцевой брекчии, представляющей собой седловидную залежь на контакте протерозойских мраморов с кварц-полевошпат-биотитовыми сланцами в ядре Иштамбердинской антиклинали и расположено на территории Чаткальского района Джалал-Абадской области Кыргызской Республики.

В 1979 г. Киргизской партией Управления геологии Киргизской ССР были обнаружены крутопадающие рудные тела в сланцах, что позволило значительно увеличить перспективы месторождения. В результате проведенных работ на месторождении выявлено более 11 рудных тел.

Основной складчатой структурой месторождения является Иштамбердинская сильно сжатая ассиметричная складка антиклинального типа. Шарнир складки в пределах месторождения погружается к востоку и западу под углами 20-35°. Вблизи ядра складки породы, слагающие ее крылья, имеют пологое падение, которое очень быстро по падению становится крутым (55-70°), устойчиво сохраняющимся до глубины 300 и более метров.

Иштамбердинский разлом с крутым северным падением осложняет южное крыло одноименной складки, амплитуда

вертикального перемещения достигает 120-140 м в центральной части месторождения, уменьшаясь до 50-60 м в восточной части. Кроме Иштамбердинского здесь присутствуют мелкие «затухающие» разломы с северным падением с незначительной (первые метры) амплитудой перемещения. Все они имеют характер сбросов.

В рудном поле Иштамберды выделено пять участков: Курусай, Западный, Южный, Восточный и Андагул. Наиболее изученным, с утвержденными запасами является участок Западный.

Контакты рудных тел с вмещающими сланцами в основном четкие. На контактах наблюдаются многочисленные глинки трения, что делает рудные тела весьма неустойчивыми при вскрытии их горными выработками.

Рудные тела представлены рассланцованными, серицитизированными, пиритизированными, слабо окварцованными сланцами с сульфидной (пирит-арсенопиритовой) минерализацией. Длина рудных тел по простиранию от 200 до 1150 м, по падению они прослежены от 110 до 340 м. Мощность рудных тел колеблется от 0,3 м до 9,6 м, составляя в среднем от 1,0 до 2,2 м. В таблице 1 приведены параметры рудных тел.

Таблица 1.-Параметры рудных тел

Рудное тело	Тип	Мощность рудного тела, м			Длина по простиранию, м	длина по падению, м
		от	до	Средняя		
Первое	Внутриформационное в крыльях складки	0,65	4,9	2,0	380	250
Второе	-«-	0,45	9,6	2,2	300	280
Четвертое	-«-	0,35	4,7	1,5	1150	200
Промежуточное	-«-	0,4	3,6	1,5	450	340
Четвертое «а»	-«-	0,3	4,9	1,5	300	110
Пятое	-«-	0,35	4,0	1,2	640	180
Шестое	-«-	0,3	4,7	1,1	820	110

Северное	-«-	0,4	3,3	1,4	1100	210
Приконтактовое	-«-	1,2	6,8	3,8	350	100
Внутриформационное	Седловидная залежь в сланцах	1,7	17,6	3,2	150	
Третье	Крутопадающее секущее	0,5	3,4	1,6	300	310
Разломное	-«-	0,3	2,0	1,55	600	150

Распределение золотого оруденения в рудных телах неравномерное: по данным опробования Первого, Четвертого и Северного рудных тел в штольнях сделан вывод о волнообразном характере распределения золота на горизонте 2186 м. Участки рудных тел, включающие относительно богатое сульфидное оруденение, в которых золото содержится от 10,0г/т до 15-25 г/т имеют мощности от 0,6 до 2,0-2,5 м и протяженность по простиранию от 10 м до 45-50 м. Эти обогащенные участки рудных тел перемежаются с рудами средними и бедными; Затем происходит последовательная смена бедных и средних руд богатыми.

Не отличается большим разнообразием и минеральный состав руд. Основную массу составляют кварц, серицит и мусковит.

Ведущим минеральным типом руд, как в количественном отношении, так и по золотоносности является золото-пирит-арсенопиритовый с умеренным содержанием сульфидов (содержание сульфидов в среднем 5-7 %, редко 10- 15%).

Ведущими минералами-концентраторами золота, как по степени - накопления полезного компонента, так и в количественном отношении являются -пирит и арсенопирит, в которых содержится основная масса золота (до 80%). В пирите и арсенопирите золото находится в виде тонкодисперсных субмикронных сингенетичных выделений, не диагностируемых оптическими и рентгеноспектральным локальным методами анализа.

В качестве попутного полезного компонента в сульфидных рудах можно выделить серебро, которое в незначительных количествах (1-12 г/т, чаще 3-5 г/т) может накапливаться в пирите, при этом прямой зависимости между содержанием серебра и золотоносностью пирита не наблюдается.

Рудные залежи западной участки имеют жилообразную форму. Мощность жил колеблется от 0,15 до 1 метра. Освоение таких запасов с применением традиционных систем разработки в большинстве случаев экономически нецелесообразно из-за высокого разубоживания и потери руды, а также низкого уровня механизации работ.

Отбор проб для изучения физико-механических свойств рудовмещающих геологических тел проводился по керновому материалу из геотехнических скважин [1]. Физико-механические свойства проб были определены в лабораторных условиях ИГиОН НАН КР. Интервал отбора проб зависел от масштаба объектов исследований и возможности извлечения монолитного ненарушенного трещинами керна. Исследованиям были подвергнуты основные петрографические и литологические разности разновозрастных метаморфических, интрузивных пород месторождения. Всего было отобрано и испытано 7 проб из 5 геотехнических скважин, пробуренных на месторождении из штольни №7.

Интрузивные породы кислого, среднекислого состава были представлены для определения основных показателей физико-механических свойств в лабораторных условиях в виде кернового материала. В таблице 2 приводится краткая характеристика горных пород с указанием №№ скважин и глубины отбора проб.

Таблица 2.-Характеристика горных пород месторождения

№ пробы	№ скважины	Глубина отбора, м	Характеристика породы
1	С-6 -08	474,3-475,3	Метасоматиты кварцполевошпатовые

2	С-4-08	184,4-185,4	Метасланцы амфиболиты слюдистые
3	С-7-08	58,0-59,0	Мраморы измененные
4	С-14-09	47,0-48,0	Метасланцы
5	С-30-09	164,0-165,0	Метасоматиты кварполевошпатовые с сульфидной минерализацией
6	Штольня 7(лев. ст)	9,0-10,0	Метасоматит
7	Штольня 7(прав.ст)	9,0-10,0	Метасоматит

Отбор проб по скважинам производился с различными интервалами: начиная через 6 м и кончая через 35-50 м. Это обусловлено необходимостью отбора наиболее невыветрелых монолитных горных пород. Наименьший и выдержанный интервал 9-10 м отмечен для смешанных метасоматитов штольни 7(правая и левая стороны). Наибольшая глубина опробования керна составила 475 м (скважина С-6-08 –кварц- полевошпатовые породы).

В лабораторных условиях определялись основные физико-механические характеристики горных пород:

- а) плотностные свойства – удельный вес, объемный вес, пористость;
- б) водно – физические свойства – водопоглощение; влажность;
- в) прочностные свойства – предел прочности на одноосное сжатие, предел прочности на растяжение, сцепление, угол внутреннего трения.

Определение физико-механических, в том числе и плотностных свойств горных пород, производилось лабораторными методами. Все определения проводились по методам, регламентированным ГОСТами и достаточно полно освещенными в литературе [2-4].

Удельный и объемный веса интрузивных пород данного месторождения изменяются закономерно в зависимости от условий их формирования, а также от химического и минерального состава, структурно-текстурных особенностей и т.д. Результаты

экспериментальных определений объемных весов пород исследуемого участка колеблются в диапазоне от 2,62 до 2,76 г/см³. Некоторые колебания величин удельных и объемных весов горных пород внутри одной литологической разности объясняются неоднородностью минерального состава, а для объемных весов также и структурно-текстурными особенностями.

С целью учета влияния водонасыщения на прочностные показатели горных пород были определены водно-физические свойства: влажность и водопоглощение. Результаты определения природной влажности показали, что все испытанные породы имеют низкие значения, не превышающие 0,03-0,33 %. Соответственно и водопоглощение этих пород характеризуется незначительными величинами.

Результаты определения показателей водно-физических свойств горных пород приведены в таблице-3.

Таблица3.-Водно-физические свойства горных пород

№№ проб	Порода	Объемный вес, г/см ³	Удельный вес, г/см ³	Пористость общая, %	Водопоглощение, %
1	Метасоматиты кварцполевошпатовые	2,61-2,65	2,78	5,03	размок за 10 мин.
		2,64			
2	Метасланцы амфиболиты слюдистые	2,52-2,68	2,70	2,96	0,34-0,80
		2,62			0,57
3	Мраморы измененные	2,70-2,82	2,84	2,8	0,44-0,59
		2,76			0,52
4	Метасланцы	2,62-2,68	2,74	3,64	0,58-0,74
		2,64			0,66
5	Метасоматиты Кварцполевошпатовые	2,62-2,67	2,71	2,95	0,14-0,23
		2,63			0,19
6	Метасоматиты	2,56-2,69	2,72	3,31	1,09-1,53
		2,67			1,31
7	Метасоматиты	2,62-2,65	2,68	1,49	0,62-1,12
		2,64			0,87

Здесь и далее в таблицах: в числителе - пределы изменения показателей, в знаменателе – средние значения.

Наиболее низкими значениями плотности ($\rho_{об}$) характеризуются кварц-серицитовые метасоматиты, что может быть объяснено сильным влиянием процесса химического выветривания.

Породы данного месторождения подвергнуты вторичным изменениям. Эти изменения (хлоритизация, серицитизация, карбонатизация, и окварцевания) существенно влияют на физико-механические свойства горных пород и поэтому весьма важны при инженерно-геологическом изучении.

По результатам испытаний были определены средние значения прочности пород на растяжение и одноосное сжатие, а также на разброс значений (табл. 4).

Таблица 4- Прочностные свойства горных пород

№ проб	Порода	Прочность при растяжении, МПа	Прочность при одноосном, сжатии, МПа
1	Метасоматиты кварцполевошпатовые	1,4-3,1	17-65
		1,6	34
2	Метасланцы амфиболиты слюдистые	3,8-4,7	76-94
		4,3	85
3	Мраморы измененные	-	-
		-	-
4	Метасланцы	0,65-1,2	13-23
		0,9	17
5	Метасоматитыкварцполевошпатовые	1,4-3,4	28-68
		2,6	52
6	Метасоматиты	2,0-2,9	44-58
		2,5	50
7	Метасоматиты	4,1-5,7	82-110
		4,7	94

Породы месторождения представлены кварц – полевошпатовыми, кварц-карбонатными и смешанными метасоматитами и отдельными породами типа метасланцев, измененных мраморов.

По результатам испытаний на прочность были рассчитаны показатели сцепления и угла внутреннего трения (табл.5).

Таблица 5.- Сцепление и угол внутреннего трения горных пород

№ проб	Порода	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
1	Метасоматиты кварцполевошпатовые	0,6	45
2	Метасланцы амфиболиты слюдистые	0,85	51
3	Мраморы измененные	-	-
4	Мраморы измененные	0,4	41
5	Метасоматиты кварцполевошпатовые	0,64	48
6	Метасоматиты	0,67	49
7	Метасоматиты	0,98	52

В лабораторных условиях было испытано 5 образцов–проб метасоматически измененных интрузивных горных пород из 5 геотехнических скважин и 2 пробы из штольни 7 (правая и левая сторона).

1. Установлено, что удельный вес колеблется в пределах от 2,68-2,84 г/см³, объемный вес – от 2,62 до 2,76 г/см³, а пористость от 1,49 до 5,03 %.

Водно-физические свойства (в частности водопоглощение в течение 5 суток) имеют низкие значения, которые меняются в пределах 0,19-1,31%.

2. Прочностные свойства горных пород меняются в диапазонах:
При одноосном сжатии – от 17 до 94 МПа;

При растяжении – от 0,9 до 4,7 МПа;

Угол внутреннего трения – от 41 до 52°;

Сцепление – от 0,6 до 0,98 МПа.

Таким образом, изучение физико-механических свойств руд и вмещающих пород месторождения показывает, что результаты его могут быть использованы при создании новой технологии добычи руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика отбора проб и определение физико-механических свойств горных пород. М. 1984, 72 с.
2. В.Д.Ломтадзе. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л. Недра.1990, 328 с.
3. М.К Терметчиков. Физико-механические свойства горных пород месторождений Киргизии и их корреляционный анализ. Изд-во «Илим» Фрунзе, 1979, 138 с.
4. ГОСТ 21153.0-75. 21153.7-75. Породы горные. Методы физических испытаний.- М.: Изд-во стандартов. 1975. –35с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ОСВОЕНИЯ КАВАКСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Абдибаитов Ш.А., Тажибаев Д.К., Ялымов Р.Н., Токтогонов Б.М.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В Кыргызской Республике имеются значительные объемы угольных объектов резко отличающихся друг от друга. Общие ресурсы угля составляют около 3 млрд.т и могут составить более 60% части топливно-энергетического комплекса Республики. Из них на долю энергетических углей приходится 70%.

Угольная промышленность страны в настоящее время находится в чрезвычайно сложном положении, связанным с адаптацией к рыночным условиям. Обусловлено это, прежде всего, низкой конкурентоспособностью кыргызских углей на внутреннем и внешнем рынках сбыта, упразднением централизованного материально-технического снабжения, переводом отрасли на самофинансирование при резком увеличении стоимости потребляемых материально-технических ресурсов, отсутствием государственной поддержки и оттоком высококвалифицированных кадров. Отдаленность расположения угольных предприятий относительно основных потребителей угля, невысокое качество добываемого угля приводит к тому, что значительная часть запасов, разрабатываемых в настоящее время, не могут быть использованы как внутри республики, так и за ее пределами. Это особенно сильно проявилось после резкого повышения железнодорожных тарифов, поэтому почти полностью прекратилось

поставки угля за пределы республики, а также с юга на север страны. Кроме того, усложнившиеся горно-геологические условия разработки месторождений, сокращение сбыта угля, неэффективная система управления отраслью, сложность обеспечения материально-техническими ресурсами и другие факторы привели к значительному удорожанию угля /1/.

В решении этой насущной проблемы может служить освоение Кавакского угольного бассейна. Указанный бассейн объединяет ряд месторождений бурого угля, расположенных в Минкушко-Көкөмеренской и Кара-Кечинской межгорных впадинах. В центральной части бассейна (Минкушская впадина) площадь угленосных отложений условно подразделена на следующие месторождения (с востока на запад): в Северной угленосной толще – Агулак, Туура-Кавак, Кашка-Суу, в Южной – Минкуш и Көк-Мойнок. В восточной части бассейна (в долинах рек Кара-Кече и Токсон-Теке) размещается месторождение Кара-Кече. За перевалом из Токсон-Теке в долину Минкуш имеются выходы угольных пластов (углепроявление Донтуз). В западной части бассейна известны лишь отдельные небольшие выходы угленосных отложений в бортах долины рек Көкөмерен и КөвҮк-Суу /2/.

Месторождения этого бассейна представляет собой крупную базу для дальнейшего развития угольной промышленности и производства электроэнергии, продуктов переработки угля для северных регионов республики и г.Бишкек. В нем сосредоточены основные запасы угля для открытой добычи. В целом же, балансовые запасы бассейна составляют порядка более 1230млн.т. Большая их часть пригодна для открытой добычи.

Угли кавакских месторождений являются высококачественным энергетическим топливом: они малозольные и малозернистые. Особенно высокими качественными показателями отличается основной

пласт угля месторождения Кара-Кече: среднее содержание золы 10%, серы 1%, низшая теплота сгорания на рабочее топливо 4700кДж (рис. 1).

Кавакские угли относятся к группе Б-3 и пригодны для использования в качестве энергетического топлива и сырья для химической промышленности после сжигания в газогенераторах и могут стать крупной сырьевой базой для получения различных химических продуктов (фенолов – сырья для производства пластических масс, гуминовых удобрений, искусственного жидкого топлива и бытового газа).

По расчетам, из углей Кавакского бассейна в перспективе также выгодно получать облагороженное твердое топливо в брикетах. Прорабатывается вопрос о строительстве брикетных фабрик на базе месторождений Кара-Кече и Минкуш с постепенным наращиванием их производственных мощностей по мере роста потребности народного хозяйства республики в твердом топливе. В перспективе также возможны газификация углей, получение моторного топлива и производство удобрений. В этом варианте будет реально довести мощность разрезов Кара-Кече и Минкуш до 3млн.т. в год. Кроме, того, на Кара-Кечинском месторождении вскрышные породы содержат около 118млн.т. известняка, который может быть использован в качестве флюсовых материалов; имеются также каолиновые глины для фарфоровой промышленности.

В настоящее время состояние Кавакского угольного бассейна выглядит следующим образом.

На месторождении Көк-Мойнок (ДҮнгҮрөмө) работают три карьера, принадлежащие ОсОО «Пандж-Шер» и ОсОО «АГК-Тоо Инвест» (рис. 2). Руководители этих предприятий возложили обязанности руководства по техническим вопросам на С. Кунасова. Практически вся техническая и юридическая документация находится в городе Бишкек, в офисах этих предприятий. Горные работы ведутся без утвержденного и согласованного плана горных работ на 2012 год. Состояние разрезов –

неудовлетворительное, хотя имеются отдельные улучшения по сравнению с прошлым годом. По информации С. Кунасова техника для обеспечения вскрыши и добычи имеются. Требуется изучение проектно-сметной документации и плана горных работ.

На территории Минкушского поселкового совета работает 4 разреза: ОсОО «Разрез Бузурманкул-Т», ОсОО «Жумгалсуукурулуш», ОсОО «Нарын КөмҮр», ОсОО «Берекет-Кен».



Рис.1. Центральный участок месторождения Кара-Кече



Рис. 2. Общий вид месторождения Көк-Мойнок (ДҮнгҮрөмө)

Во время посещения авторов данной работы в 2012г. Минкушского месторождения на нем работали 2 разреза: ОсОО «Разрез Бузурманкул-Т» и ОсОО «Жумгалсуукурулуш».

ОсОО «Разрез Бузурманкул-Т» разрабатывает участок «Западный» Минкушского месторождения. Горный мастер не мог показать наличие технической документации. Общее впечатление: отстают вскрышные работы. Всего на разрезе имеется 1 экскаватор с объемом ковша $1,0\text{м}^3$, остальная техника взята на временную аренду. Инвестор задерживает финансирование в связи с политической обстановкой в республике. По состоянию на 01.07.2012 года не согласован план развития горных работ, хотя отчеты и программы были предоставлены в Государственное агентство по геологии и минеральным ресурсам своевременно.

ОсОО «Жумгалсуукурулуш» также разрабатывает участок «Западный». Техническое состояние – неудовлетворительное. При

посещении этого участка горный мастер не мог представить техническую документацию. Породные отвалы расположены или близко к реке, или нет расширения в перспективе. Требуется изучение проектно-технической документации. Работы на разрезе ведутся в опасной зоне с высотой уступа, превышающей норму в 2-3 раза. Готовые к выемке запасы угля отсутствуют (рис. 3).

Разрезы ОсОО «Нарын Көмүр», ОсОО «Берекет-Кен» разрабатывают участок «Туура-Кавак» Минкушского месторождения. Во время посещения на этих разрезах никакие работы не велись. Состояние разреза не удовлетворительные, отстают вскрышные работы, запасы угля, готовые к выемке – отсутствуют. Для того, чтобы дать инженерную оценку деятельности этих разрезов, требуется изучение проектно-технической документации и анализ добычи угля и вскрыши за последние 2-5 лет.

На Кара-Кечинском угольном месторождении расположены 4 разреза. На восточном выходе пласта «Основной» находится ОсОО «Демилге плюс Л.Т.Д.». Данный разрез на момент посещения не работал.

На участке «Центральном» расположен разрез ГП «Кара-Кече». До этого на этом участке вели разработку ГАО «Разрез Ак-Улак» и ЧП «Беш-Сары».

ГАО «Разрез Ак-Улак» до 2000 года работало согласно правилам и требованиям технологии добычи угля. С 2000 года это предприятие стало работать сначала под крылом президента А. Акаева, а затем с 2005 года под крылом президента К. Бакиева. В эти годы под руководством брата К. Бакиева, А. Бакиева все основные фонды предприятия доведены до банкротного состояния. Этой проблемой занимались и правоохранительные органы, и депутатские комиссии, но никто не был привлечен к ответственности. Состояние на разрезе – неудовлетворительное, угольные пласты, где должна производиться

добыча угля – затоплена. В 2011 году подписано Постановление Правительства Кыргызской Республики «О создании ГП Кара-Кече», однако со стороны Правительства не было оказано никакой технической и финансовой поддержки. На данный момент разрез находится в аварийном состоянии.

Другую часть данного участка разрабатывало ОсОО «Беш-Сары». Данная



Рис. 3. Забой разреза ОсОО «Жумгалсуукурулуш»

фирма с первого дня находилась под наблюдением коррумпированной власти. Фирма разрабатывала разрез с грубейшими нарушениями технологии добычи угля и без достаточных вскрышных работ. На разрезе требуется глубокое инженерное изучение, составление новой проектной документации и приступить к разработке на основе нового технического проекта.

На участке «Токсон-Теке» (западный участок месторождения Кара-Кече) расположен разрез ЗАО «Шарбон» - участок со сложным тектоническим строением. Работы ведутся согласно разработанного технического проекта, имеются подготовленные запасы угля и товарный

продукт для отгрузки потребителям. На разрезе имеются три экскаватора ЭКГ-5 и автосамосвалы для перевозки вскрышных пород.

Разрез ОсОО «Ак-Жол Көмүр» расположен на западном участке месторождения Кара-Кече. Этот разрез – маломощный; при посещении данного разреза на добыче угля на выходе с шестого пласта в работе находился один экскаватор с ковшом объемом до 1,0м³. Требуется глубокое изучение проектно-технической документации.

Применяемые технологии отработки характеризуются высокой трудоемкостью, не обеспечивают необходимого уровня безопасности горных работ и сопряжены со значительными потерями угля в недрах. При этом зачастую не принимается во внимание сложность и еще большее усложнение с глубиной отработки горно-геологических и горнотехнических условий, которыми отличается большинство угольных месторождений страны, геомеханические процессы, протекающие во вмещающих горных породах и угольном массиве, их нарушенность, склонность углей к самовозгоранию. Такое положение в конечном итоге может привести к полному прекращению угледобычи на месторождении.

Все изложенное является результатом отсутствия внимания государства к этой важнейшей отрасли экономики, ее развитие не регулируется, не осуществляется должный контроль и надзор. По сути, все это прямое нарушение требований ст.5 «Об особой охране недр Кыргызстана» Конституции Кыргызской Республики, Закона Кыргызской Республики «Об угле» и некоторых других нормативно-правовых актов /3/.

Проблемы освоения Кавакского бассейна может затронуть вопросы и межрегионального характера. Особый интерес в этом отношении представляет ураново-угольное месторождение Туура-Кавак, на базе которого в период с 1953 по 1968г. в пос. Минкуш функционировал рудник «Кавак». Здесь на местной обогатительной фабрике велась переработка ураносодержащих углей и песчаника.

В настоящее время в пос. Минкуш имеется 4 законсервированных хвостохранилища, в которых заскладированы радиоактивные отходы переработки и обогащения уранового сырья и представляющие серьезную экологическую опасность. Наиболее опасные последствия для районов, находящихся ниже хвостохранилища и оползневой дамбы, могут возникнуть в случае внезапного и полного разрушения оползневой дамбы, чреватого возникновением прорывного потока. Это влечет за собой разрушение жилых домов, расположенных в приустьевой части р.Туюк-Суу, а также радиоактивное загрязнение русел и поймы рек Минкуш, Көкөмерен и Нарын /4/.

В целом, промышленное освоение Кавакского угольного бассейна представляется крайне необходимым: во-первых, создается надежная топливная база для северной части республики; во-вторых, необходимо внедрить в производство научные достижения о глубокой переработке угля в целях получения жидкого топлива и ценных химических материалов.

Выводы и предложения:

1. Кавакский угольный бассейн является одним из важных сырьевых базисов по добыче угля. Разговор об освоении данного бассейна ведется с 50-х годов прошлого века, но данный момент экономический эффект не достигнут.

2. Одним из главных недостатков является некомплексное решение вопросов коммуникаций по организации добычи угля. Горнодобывающая отрасль отличается капиталоемкостью, требующей концентрации капитала, специализации и кооперации производства, подбора расстановки руководящих кадров с учетом профессионализма и патриотизма.

3. Государственные органы по выдаче лицензий на разработку осуществляют свои функции без инженерных, научно-технических исследований. Слабо проводится государственный надзор и не

регулируется их деятельность в интересах государства и перспективы развития. В настоящее время требуется обоснованная корректировка с учетом объективных причин и заключений экспертов и разработка проекта разработки месторождения в целом.

4. Необходимо оказывать научно-техническую помощь со стороны научных учреждений, государственной поддержки по привлечению инвестиций по освоению этого крупного бассейна в целях повышения эффективности работы предприятий.

5. По всем указанным месторождениям следует производить жесткий контроль со стороны Госэкотехинспекции и Госагенства геологии и минерального сырья по соблюдению правил ведения горных работ, охраны недр и окружающей среды.

6. Внедрение в производство научных достижений о глубокой переработке Кара-Кечинского угля в целях получения жидкого топлива и ценных химических материалов. Это является неотложной задачей и требованием сегодняшнего дня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камчыбеков Д.К. Стратегия развития угольной отрасли Кыргызстана на ближайшую перспективу. Сб. Современные проблемы механики сплошных сред. Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии. Выпуск 17. –Бишкек, 2013. -с.114-124.
2. Каширин Ф.Т. Кавакский угольный бассейн: геология, угленосность, перспективы освоения. –Фрунзе, Илим, 1990. -172с.
3. Кожогулов К.Ч., Камчыбеков Д.К., Абдибаитов Ш.А. Кавакский угольный бассейн: состояние и пути развития. Известия НАН КР. – Бишкек, Илим, 2013. №2. -с.21-25.
4. Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. Справочник-словарь. – Бишкек, Илим, 2009. -240с.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ОПОЛЗНЯ ТУЮК-СУУ

Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Айдаралиев Б.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В весенний период 2004 г. на участке правобережного древнеоползневого склона долины р. Туюк-Суу (пос. Мин-Куш), в 200 м ниже одноименного хвостохранилища, возникли трещины закола и начал формироваться оползень второго порядка объемом свыше 0,5 млн. м³ (рис. 1).

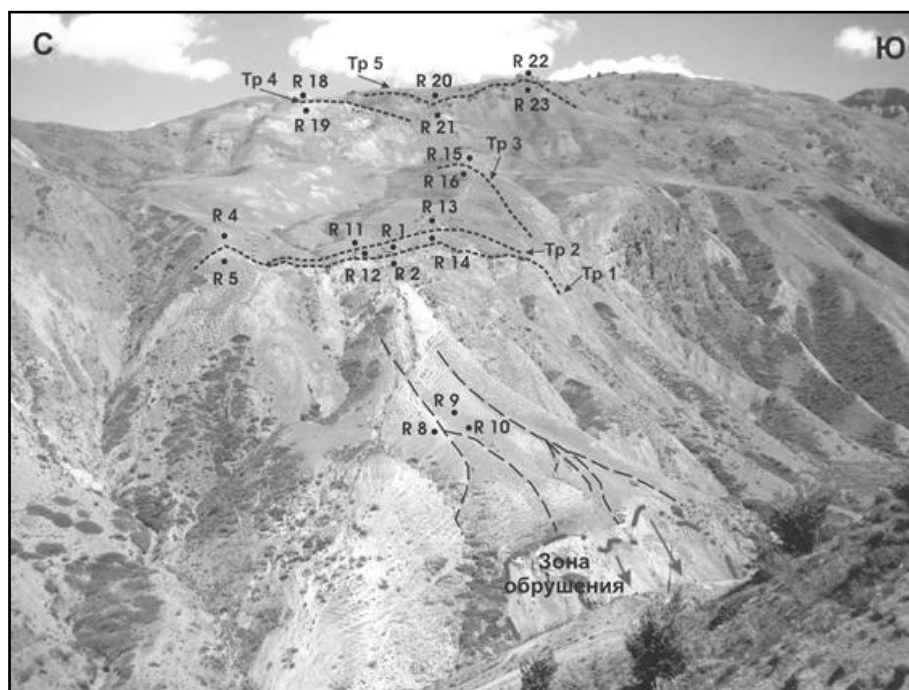


Рис. 1. Общий вид оползнеопасного склона с трещинами и реперами сети геомониторинга оползневых смещений

Основными техногенными причинами реактивизации древнего оползня стали подрезка основания склона при прокладке технологической автомобильной дороги и трубопроводов к хвостохранилищу «Туюк-Суу». Природными причинами снижения устойчивости древнеоползневого склона стали интенсивная донная и береговая эрозия подошвы склона за счёт реки Туюк-Суу, а также подток подземных вод из зоны тектонического нарушения, вызванный аномально большим количеством атмосферных осадков весны 2004 г.

В 2004 г., НИЦ «ГЕОПРИБОР» выполнил комплекс геофизических и геотехнических исследований на рассматриваемом склоне и заложил сеть геодезического мониторинга оползневых смещений. В результате выполнения этих работ были изучены геологическое строение, инженерно-геологические и гидрогеологические условия оползнеопасного участка, выполнена оценка состояния оползневого склона на момент проведения исследований, включая расчеты, устойчивости и поражающих факторов /1/.

За период после 2004 г. процесс оползания на рассматриваемом склоне распространился вверх, вплоть до водораздельной части склона. Это предопределило необходимость уточнения общего объёма оползня, от которого зависят поражающие эффекты оползания, в том числе последствия воздействия полной или частичной разгрузки оползня в узкой долине на расположенное рядом уязвимое урановое хвостохранилище «Туюк-Суу» /2/.

Для уточнения объёма оползня и оценки состояния оползнеопасного склона в июле-августе 2012 г. были проведены дополнительные детальные исследования. В частности, были выполнены топогеодезическая съёмка новых трещин и оползневых блоков, геофизические (электро- и сейсморазведочные) исследования для оценки объёма и мощности оползневого массива, уточнения его

структуры, а также расширение сети реперов геомониторинга оползневых смещений и деформаций.

В результате проведения этих исследований были получены новые морфометрические данные о строении оползающего массива горных пород, в частности его мощности на различных участках, ширины и углах наклона наиболее вероятной плоскости скольжения (рис.2).

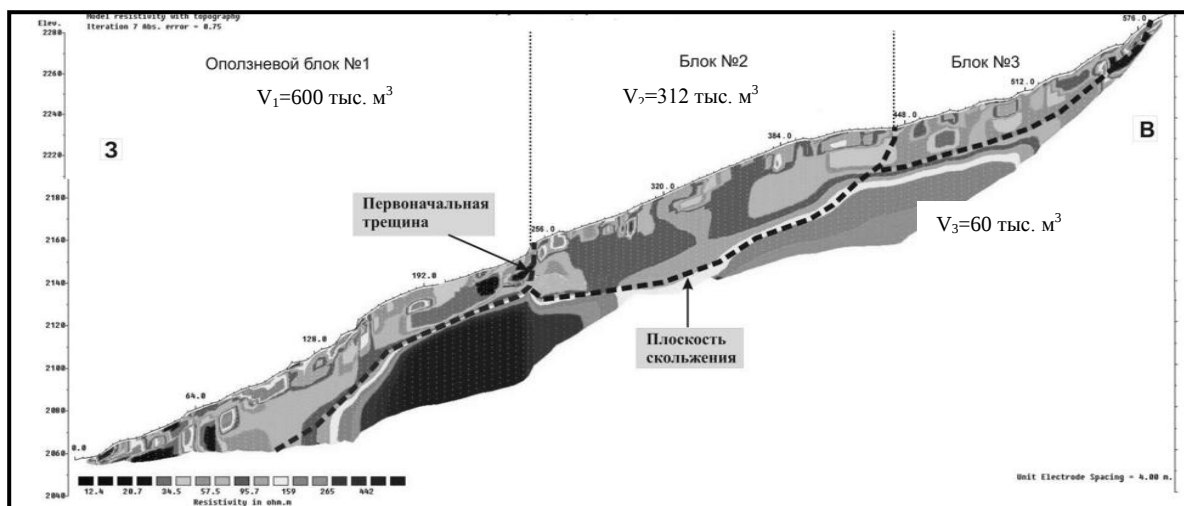


Рис.2. Геоэлектрический разрез по оси оползневого склона

Полученные данные, во-первых, позволили уточнить данные об объемах оползающей массы, как в разных ярусах оползня (рис.2), так и полный объем оползня, который в настоящее время достигает почти - 1,0 млн. м³.

Во-вторых, с помощью аппаратуры DGPS была выполнена съёмка сети всех оползневых трещин на склоне, которые представляет собой следующие кластеры (рис.1):

- первоначальная трещина (Тр.1), возникшая весной 2004 г., и в настоящее время, представляющая уступ высотой более 3 м. Для мониторинга смещений по этой трещине (уступу) установлены реперы R4-R5, R11-R12 (рис.1);

- вторичная трещина (Тр. 2), которая сформировалась параллельно к Тр.1, также представляющая уступ высотой до 0.5 м. Смещения по этой трещине контролируются с помощью реперов R13-R14;

- система вторичных трещин (Тр. 4-5 на рис.1), возникших в 2006 г. в верхней приводораздельной части склона. Причем вновь появившиеся протяженные трещины, параллельные к Тр.1, были приурочены к бровке срыва древнего оползня, т.е. пространственно совпадали с линией отрыва древнего оползня от коренного массива. Мониторинг смещений по этим трещинам ведётся по реперам R18-R19 (Тр.4), R20-R21 (Тр.5) и R22-R23 (рис.1);

- вторичные трещины (Тр.3 на рис.2), возникшие в 2007 г. чуть выше Тр.1. Мониторинг по этой трещине ведётся по реперам R15-R16 (рис.1);

- система в основном продольных трещин в нижней, сильно разрыхленной части склона, на которых установлены реперы системы геомониторинга R8-R10 (рис.1).

На рис. 3-5 приведены результаты мониторинга смещений на перечисленных выше оползневых трещинах за 2004-2013 гг., во взаимосвязи с землетрясениями, зафиксированными в радиусе 100 км от пос. Мин-Куш.

Общая величина смещения нижней части оползня на основной трещине №1 за указанный период составила в средней её части на реперах R1-R2 - 296 см (≈ 3 м). В 2013 г. максимальное смещение на трещине №1 было зафиксировано на реперах R11-R12, которое составило 35 см (рис.3). Средняя скорость смещения в 2013 г. на этих реперах составила 0.95 мм/сут, что в два раза меньше, чем отмечалось в 2012 г. Общая величина смещения на северо-восточном фланге трещины №1, по реперам R4-R5 за 2004-2013 гг. составила 210 см, в том числе за 2013 г. она составила 20 см. На рис. 3 видно, что характер изменения величины смещения на этих реперах практически идентичен, причём скачкообразные возрастания величины (скорости) смещения

вызваны сильными землетрясениями. В 2013 г. скачкообразные подвижки практически на всех реперах системы геомониторинга были зафиксированы 30 мая 2013 г., что связано с землетрясением ($M=2,3$), произошедшими в этот день в ближней зоне от Мин-Куша.

Как и в прошлые годы, значительные смещения фиксировались в нижнем ярусе оползня. Так, на реперах R8–R10 (рис.4) общая величина смещения за январь-ноябрь 2013 г. составила 44 см, на реперах R8-R9 – 39 см. Судя по графикам (рис. 4) явной связи смещения нижней сильно раздробленной части оползня с землетрясениями не наблюдается.

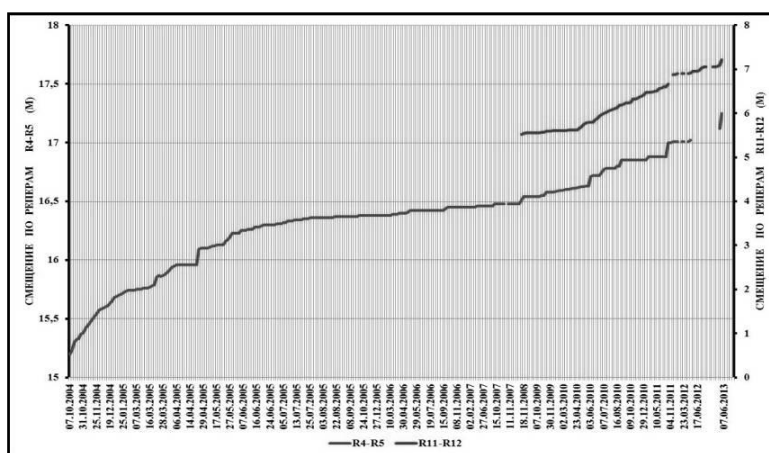


Рис. 3. Результаты мониторинга смещений на Тр. №1, по реперам R4-R5 за период 2004-2013 гг. и реперам R11-R12 за 2008-2013 гг.: положение реперов на оползне показано на рис.1.

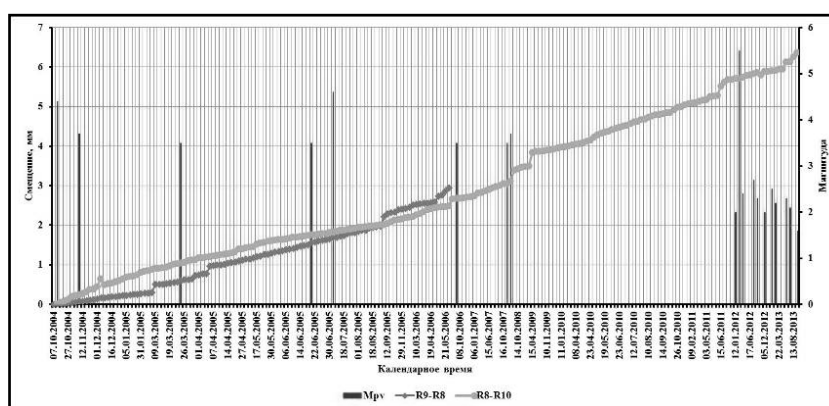


Рис. 4. Результаты мониторинга оползневых смещений в нижнем ярусе оползня, по реперам R8 – R10 и R8-R9 за период 2004-2013 гг. в корреляции с землетрясениями в ближней зоне

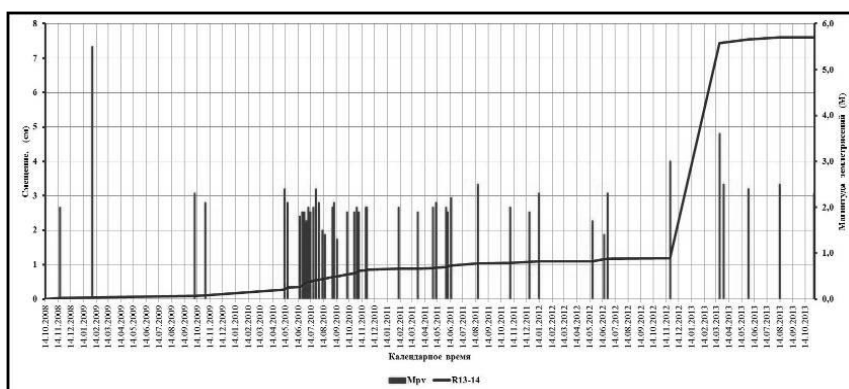


Рис.5. Результаты мониторинга оползневых смещений в среднем ярусе оползня, по реперам R13 – R14 за период 2008-2013 гг. в корреляции с землетрясениями в ближней зоне

В среднем ярусе оползня за 11 месяцев 2013 г. были зафиксированы смещения на трещине №2, на реперах R13-R14 (рис.5), которые составили -18 см, на трещине №3 на реперах R15-R16 -21см. Вектор смещения среднего оползневого блока имеет преимущественно северо-западное направление, то есть в сторону посёлка Мин-Куш.

В целом графики кумулятивного смещения нижнего оползневого яруса (створы R8 – R10, R8-R9) и смещений на основных трещинах №1 (R4-R5, R11-R12) и №2 (R13-R14) за весь период геомониторинга с 2004 по 2013 гг. напоминают классические кривые ползучести, на которых можно выделить все характерные стадии, включая стадию установившейся ползучести и стадию прогрессирующей ползучести (створы R8 – R10, R8-R9), которая должна завершиться обрушением склона, т.е. разгрузкой оползня Туюк-Суу. При детальном рассмотрении графиков смещения видно, что на общем ходе кривых в течение длительного времени имеются интервалы времени, на которых имело место краткосрочное, скорее всего, сезонное (весной) увеличение скорости, в том числе скачкообразного характера (рис.3-5) после сильных и ощутимых землетрясений.

По результатам геофизических исследований и мониторинга оползня за 2004-2013 гг. можно сделать следующие выводы:

1. Оползень Туюк-Суу в настоящее время представляет собой трехъярусный оползневой массив с весьма сложной из-за наличия тектонического разлома и подземного упора формой оползневого ложа, особенно в нижнем ярусе склона.

2. В нижнем ярусе оползневого склона, в котором до недавнего времени развивались сжимающие напряжения, отмечается переползание дробленных масс древнего оползня через подземный уступ более твердых коренных пород с постепенным повышением скорости смещения лежащих ниже подземного уступа оползающих масс. Есть все основания предполагать, что в настоящее время отмечается гравитационный крип этого уступа, переходящий из стадии вторичной ползучести в стадию прогрессирующей ползучести, который должен завершиться обрушением нижней части склона.

3. В связи с тем, что при переползании оползневых масс через подземный уступ (упор) произошли скачкообразные подвижки оползневых масс нижнего яруса, оползневой процесс стал распространяться вверх по склону, по мере того, как оползающие нижележащие массы лишали опоры вышележащие массы среднего и верхнего ярусов.

4. В результате распространения оползания вверх по склону, образовались трещины растяжения в среднем (Тр. № 3) и верхнем (Тр. №№ 4,5) ярусах склона. Это привело к нарастанию общего объема оползающих к настоящему моменту масс за счет вовлечения в смещение оползневых масс среднего яруса до 1 млн. м³.

5. Вектор смещения оползневых грунтов нижнего яруса, которые первыми будут разгружаться в долину р. Туюк-Суу, в силу строения ложа оползня направлен в юг-юго-западном направлении, т.е. в сторону хвостохранилища "Туюк-Суу".

6. Вектор смещения оползневых грунтов среднего яруса направлен с востока на запад, однако из-за наличия чуть ниже оползневой ступени (Тр.№1) подземного упора, будет отмечаться их дробление и изменение вектора смещения на юг-юго-западное направление.

7. Процесс оползания на склоне будет происходить скорее всего поэтапно: вначале возможен сход в долину р. Туюк-Суу оползневых масс нижнего яруса объемом до 600 тыс. м³, затем, по истечении некоторого времени, вслед за разгрузкой нижнего яруса произойдет обрушение пород среднего яруса объемом 300 тыс. м³.

8. Из-за особенностей сложного горного рельефа района при неизбежной разгрузке оползня в узкую долину речки Туюк-Суу возможно формирование многоступенчатой (каскадной) катастрофы, которая в конечном итоге может повлечь за собой разрушение хвостохранилища с выносом радиоактивных «хвостов» в р. Минкуш, а затем в р. Кёкёмерен, р. Нарын и далее в Токтогульское водохранилище /1,2/.

9. По этой причине хвостохранилище «Туюк-Суу» отнесено экспертами Кыргызстана и МАГАТЭ к объектам с высоким уровнем риска и, поэтому в качестве кардинальной меры предотвращения опасных экологических последствий его оползневого и/или селевого разрушения предлагается перенести его на безопасный участок хвостохранилищ «Как» и «Дальнее» /3/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Абиров К., Аширов Г.Э. Минимизация экологического риска на урановом хвостохранилище «Туюк-Суу» // Проблемы снижения природных опасностей и рисков / Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2009», Т.2. – Москва: РУДН, 2009. –с. 251-256.

2. Торгоев И.А., Алешин Ю.Г., Аширов Г.Э., Коваленко Д.Н. Оползневая опасность территории Кыргызстана и возможные экологические последствия оползневых катастроф. // Геодинамика и геоэкология высокогорных регионов в XXI веке. Вып.2. Бишкек. 2007. с. 83-96
3. Torgoev I.A., Aleshin Y.G., Ashirov G.E. Environmental Effects of Possible Landslide Catastrophes in The Areas of Radioactive Waste Warehousing in Kyrgyzstan (Central Asia). // Proceedings of The First World Landslide Forum 18-21 November 2008. United Nations University, Tokyo, Japan.-pp 599-602

ОБ АЛГОРИТМЕ МЕТОДА КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ РАСЧЕТА СЖИМАЕМЫХ ТЕЧЕНИЙ ГАЗА В РАМКАХ МОДЕЛИ НАВЬЕ-СТОКСА В СЛУЧАЕ ПЛОСКОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИЙ

Чечейбаев А.Б., Чечейбаев Б., Эстебесова Н.Т.

КНУ им. Ж. Баласагына

Расчет вязких течений газа в рамках уравнений Навье-Стокса является эволюционной задачей математической физики [1]. Как известно, уравнения Навье-Стокса выводятся в предположении прямой пропорциональности тензора напряжений и тензора скоростей деформаций и справедливы для потоков со значительной вязкостью [1, 2 и др.]. Вместе с этим, в отличие от уравнений Эйлера для идеального газа, уравнения Навье-Стокса предъявляют высокие требования к мощности современных ЭВМ.

Одним из ярких методов современного вычислительного эксперимента является метод крупных частиц (МКЧ), разработанный крупным российским ученым, Почетным Академиком НАН Кыргызской Республики, Ю.М.Давыдовым [1, 2, 3 и др.]. С помощью данного метода успешно решаются сложные задачи гидродинамики, физики плазмы, механики экологии, машиностроения, механики сыпучих сред и др.

Рассмотрим задачу о расчете с помощью МКЧ течений вязкого теплопроводного газа в рамках уравнений Навье-Стокса. В случае двумерной декартовой системы координат дифференциальная форма уравнений Навье-Стокса для расчета вязких сжимаемых течений газа состоит из уравнений неразрывности, импульса и энергии:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u^2}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho v^2}{\partial y} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\}, \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial \rho u E}{\partial x} + \frac{\partial \rho v E}{\partial y} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = & \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \cdot u + \right. \\ & + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) v + \mu \frac{\partial}{\partial x} (B \cdot J + u^2) \left. \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \mu A \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) v + \right. \\ & + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) u + \mu \frac{\partial}{\partial y} (B \cdot J + v^2) \left. \right\}. \end{aligned} \quad (4)$$

где μ - первый коэффициент вязкости, $\lambda = A \cdot \mu$ - второй коэффициент вязкости, для элементарной модели одноатомного газа принимаем, что $A = -\frac{2}{3}$; $B = \frac{\gamma}{Pr}$, Pr - число Прандтля; $E = J + \frac{1}{2} \cdot (u^2 + v^2)$. Здесь ρ, u, v, J, E, p - плотность, горизонтальная составляющая вектора скорости, вертикальная составляющая вектора скорости, удельная внутренняя энергия, удельная полная энергия и давление газа соответственно.

Для расчета динамической вязкости μ часто используется формула Сазерленда [2]:

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{T_0 + C}{T + C} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (5)$$

μ - вязкость газа при температуре газа T , μ_0 - вязкость газа при температуре газа T_0 , C - постоянная Сазерленда. Для воздуха постоянные в уравнении (5) выглядят так: $C = 120 \text{ K}^0$, $T_0 = 291,15 \text{ K}^0$, $\mu_0 = 18,27 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$.

В данной работе будем пренебрегать изменением вязкости. Систему уравнений (1) - (4) будем расщеплять методом крупных частиц [1]. На эйлеровом этапе, пренебрегая дивергентными членами в системе (1) - (4), получаем следующую систему уравнений в частных производных:

$$\rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \cdot \left[(A + 2) \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + (A + 1) \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \right], \quad (6)$$

$$\rho \cdot \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \cdot \left[(A+2) \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (A+1) \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right], \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \rho \cdot \frac{\partial E}{\partial t} = & -\frac{\partial p u}{\partial x} - \frac{\partial p v}{\partial y} + \mu \left[(A+2) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \right. \\ & \left. + A \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(u \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(u \frac{\partial v}{\partial x} \right) + B \left(\frac{\partial^2 J}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 J}{\partial x^2} \right) \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Перепишем уравнение энергии (8) в следующем виде:

$$\begin{aligned} \rho \cdot \frac{\partial E}{\partial t} = & -\frac{\partial p u}{\partial x} - \frac{\partial p v}{\partial y} + \mu \left\{ (A+2) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \right. \\ & \left. + A \left[2 \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} + u \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + v \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right] + 2 \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + u \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + \right. \\ & \left. B \left(\frac{\partial^2 J}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 J}{\partial x^2} \right) \right\}; \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда, заменяя в уравнениях (6), (7), (9) производные по времени и пространству соответствующими конечными разностями, получаем явные схемы эйлера этапа метода крупных частиц. В методе крупных частиц для аппроксимации производных используются следующие конечные разности:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\tilde{\Psi}_{i,j}^n - \Psi_{i,j}^n}{\Delta t}, \quad \Psi = \{u, v, E\} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} = \frac{\Psi_{i+1,j}^n - \Psi_{i-1,j}^n}{2 \cdot \Delta x}, \quad \Psi = \{u, v, p, p u\} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial y} = \frac{\Psi_{i,j+1}^n - \Psi_{i,j-1}^n}{2 \cdot \Delta y}, \quad \Psi = \{u, v, p, p v\} \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \frac{\Psi_{i+1,j}^n - 2 \cdot \Psi_{i,j}^n + \Psi_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2}, \quad \Psi = \{u, v, J\} \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = \frac{\Psi_{i,j+1}^n - 2 \cdot \Psi_{i,j}^n + \Psi_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2}, \quad \Psi = \{u, v, J\} \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x \partial y} = \frac{\Psi_{i+1,j+1}^n - \Psi_{i-1,j+1}^n - \Psi_{i+1,j-1}^n + \Psi_{i-1,j-1}^n}{4 \cdot \Delta x \cdot \Delta y}, \quad \Psi = \{u, v\} \quad (16)$$

На эйлеровом этапе метода крупных частиц определяются промежуточные значения для энергии и составляющих вектора скорости.

На лагранжевом этапе МКЧ определяются потоки масс $\Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^n$, $\Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^n$, $\Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^n$, $\Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^n$ через границы эйлеровых ячеек за время Δt . При расчете потоков масс целесообразнее использовать разностные формулы первого порядка точности.

На заключительном этапе МКЧ определяются новые значения величин плотности, скорости и удельной полной энергии:

$$\rho_{i,j}^{n+1} = \rho_{i,j}^n + \frac{\sum \Delta M_k}{\Delta x \cdot \Delta y} = \rho_{i,j}^n + \frac{\Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^n - \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^n + \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^n - \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{\Delta x \cdot \Delta y}, \quad (17)$$

$$X_{i,j}^{n+1} = \frac{\rho_{i,j}^n}{\rho_{i,j}^{n+1}} \tilde{X}_{i,j}^n + \frac{\tilde{X}_{i-1,j}^n \Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^n - \tilde{X}_{i,j-1}^n \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^n + \tilde{X}_{i,j}^n \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^n - \tilde{X}_{i,j+1}^n \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{\rho_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta x \cdot \Delta y}, \quad (18)$$

где $X = \{u, v, E\}$.

Рассмотрим теперь общую формулу для расчета уравнений движения вязкого теплопроводного газа в рамках гидродинамической модели Навье-Стокса [5, 6]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0, \quad (19)$$

$$\frac{\partial (\rho \vec{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = \rho \vec{f} + \nabla \cdot \Pi_{i,j}, \quad (20)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot (E \vec{V}) = \frac{\partial Q}{\partial t} - \nabla \cdot \vec{q} + \rho \vec{f} \cdot \vec{V} + \nabla \cdot (\Pi_{i,j} \cdot \vec{V}), \quad (21)$$

где $\vec{q}$ – вектор плотности теплового потока, $\vec{f}$ – сила, отнесенная к единичной массе, $\Pi_{i,j}$ – составляющие тензора напряжений.

Переходя к цилиндрическим координатам, в случае осесимметричного потока получаем следующую систему уравнений:

$$r \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho \cdot u) + \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot \rho \cdot v) = 0, \quad (22)$$

$$r \frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho \cdot u^2 - r \cdot \tau_{rr}) + \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot \rho \cdot u \cdot v - r \cdot \tau_{rz}) + \tau_{\varphi\varphi} + r \frac{\partial p}{\partial r} = 0, \quad (23)$$

$$r \frac{\partial (\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho \cdot u \cdot v - r \cdot \tau_{rz}) + \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot \rho \cdot v^2 - r \cdot \tau_{zz}) + r \frac{\partial p}{\partial z} = 0, \quad (24)$$

$$r \frac{\partial (\rho e)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho \cdot u \cdot e - r \cdot q_r) + \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot \rho \cdot v \cdot e - r \cdot q_z) + \\ + p \cdot \left[\frac{\partial}{\partial r} (r \cdot u) + \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot v) \right] = r \frac{dQ}{dt} + r\Phi, \quad (25)$$

где $p = (\gamma - 1) \cdot \rho \cdot e, \mu = e^\omega, 0.5 \leq \omega \leq 1; \Phi = \frac{\mu}{Re_\infty} \cdot \left\{ \frac{2}{3} \cdot \left[\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r} \right)^2 + \right. \right.$

$\left. \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{v}{r} + \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial r} \right\} -$ диссипативная функция;

Здесь составляющие тензора напряжений и компоненты вектора теплового потока рассчитываются так:

$$\begin{aligned} \tau_{rr} &= \frac{\mu}{Re_\infty} \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{2}{3} \cdot \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{2}{3} \cdot \frac{u}{r} \right), & \tau_{zz} &= \frac{\mu}{Re_\infty} \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{2}{3} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{2}{3} \cdot \frac{v}{r} \right) \\ \tau_{\varphi\varphi} &= \frac{\mu}{Re_\infty} \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{u}{r} - \frac{2}{3} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{2}{3} \cdot \frac{\partial v}{\partial z} \right), & \tau_{rz} &= \frac{\mu}{Re_\infty} \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial r} \right) \end{aligned} \quad (26)$$

$$q_r = \frac{\gamma \cdot \mu}{Pr \cdot Re_\infty} \cdot \frac{\partial e}{\partial r}, \quad q_z = \frac{\gamma \cdot \mu}{Pr \cdot Re_\infty} \cdot \frac{\partial e}{\partial z}, \quad (27)$$

Соотношения для безразмерных коэффициентов – чисел Рейнольдса и Прандтля выглядят так: $Re_\infty = \frac{V_\infty \cdot R_0 \cdot \rho_\infty}{\mu_\infty}, \quad Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\gamma},$

где $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ – отношение коэффициентов теплоемкостей газа при постоянном давлении и объеме. Для воздуха обычно принимается, что $\gamma = 1,4$.

Для решения системы (22) - (25) методом крупных частиц необходимо провести ее расщепление на две отдельные системы уравнений в частных производных:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} = 0, \quad (26)$$

$$r \rho_1 \frac{\partial u_1}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot (\tau_{rr})_1) - \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot (\tau_{rz})_1) + (\tau_{\varphi\varphi})_1 + r \frac{\partial p_1}{\partial r} = 0, \quad (27)$$

$$r \rho_1 \frac{\partial v_1}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot (\tau_{rz})_1) - \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot (\tau_{zz})_1) + r \frac{\partial p_1}{\partial z} = 0, \quad (28)$$

$$r \rho_1 \frac{\partial e_1}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot (q_r)_1) - \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot (q_z)_1) + p_1 \left[\frac{\partial}{\partial r} (r u_1) + \frac{\partial}{\partial z} (r v_1) \right] = r \frac{dQ_1}{dt} + r \Phi_1 \quad (29)$$

$$r \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_1 \cdot u_1) = 0, \quad (30)$$

$$r \frac{\partial (\rho_2 u_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_1 \cdot (u_1)^2) + \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot \rho_1 \cdot u_1 \cdot v_1) = 0, \quad (31)$$

$$r \frac{\partial (\rho_2 v_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_1 \cdot u_1 \cdot v_2) + \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot \rho_1 \cdot (v_1)^2) = 0, \quad (32)$$

$$r \frac{\partial (\rho_2 e_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \rho_1 \cdot u_1 \cdot e_1) + \frac{\partial}{\partial z} (r \cdot \rho_1 \cdot v_1 \cdot e_1) = 0 \quad (33)$$

На эйлеровом этапе метода крупных частиц решается система уравнений (26) – (29). При аппроксимации данной системы разностными схемами используются элементарные разности (10) – (12).

Далее, на промежуточном и лагранжевом этапах, используя найденные на эйлеровом этапе распределения для ρ_1 , u_1 , v_1 , e_1 в системе (30) – (33), аналогично случаю решения системы уравнений (1) – (4), определяем новые распределения плотности, скорости и энергии для следующего момента времени $t = t^{n+1}$.

Авторами данной статьи в настоящее время проводится программная реализация метода крупных частиц на М-языке системы программирования MATLAB для проведения расчетов движения теплопроводного газа в рамках уравнений Навье-Стокса в случае декартовой и цилиндрической систем координат.

В случае декартовой системы координат проводится расчет обтекания вязким газом двух прямоугольных препятствий - задачи, актуальной для оценки проветривания воздухом различных жилищных зданий.

В случае цилиндрической геометрии проводится расчет динамики вязкого теплопроводного газа внутри цилиндрической трубы - задачи, актуальной для проблем трубопроводной транспортировки газа.

Результаты проведенных численных расчетов будут опубликованы в следующих работах авторов данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. Вычислительный эксперимент. - М.: Наука, 1982. - 392 с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1987.-840 с.
3. Давыдов Ю.М. Крупных частиц метод. – В кн.: Математическая энциклопедия. Т.3.–М.:Советская энциклопедия, 1982. – С. 125-129.
4. Yuri M. Davydov. Large-Particle Method. - In.: Encyclopaedia of Mathematics, vol.5. -Dordrecht/Boston/London: Kluwer academic publishers, 1990, p.p. 358-360.

5. Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т. 1: пер. С англ. – М.: Мир, 1990. – 392 с.
6. Шайдуров В.В., Щепановская Г.И. Математическое моделирование нестационарного распространения импульса энергии большой мощности в вязком теплопроводном газе // Вычислительные технологии. - 2001. - Т. 6. - Ч. 2. - Спец. выпуск. - С. 693–698.

ОБТЕКАНИЕ ПРОНИЦАЕМОЙ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНКИ ПОТОКОМ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ НАКЛОНЕННОЙ К ПЛАСТИНКЕ

Абдылдаев М.Ю., Исаков Б.О., Аркабаева Г.Н.

КНУ им. Ж.Баласагына

1. Рассматривается задача об обтекании плоской проницаемой бесконечной пластинки струей, вытекающей из канала наклоненной к пластинке под углом α (рис.1).

Струя, ударяющаяся о бесконечную пластину, в плоскости W (комплексный потенциал) дает более сложную область; годографом течения является круговая луночка.

Будем считать, что пластина расположена горизонтально и что ширина канала равна L .

Перейдем к вычислению этих величин.

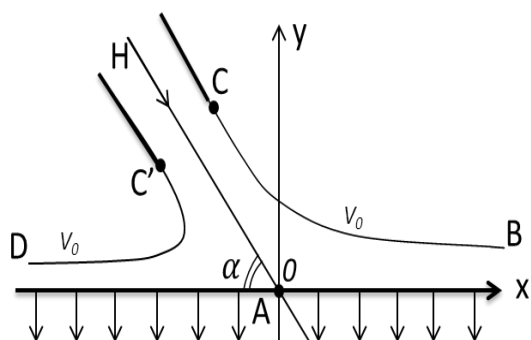


Рис.1 Картина течения в физической плоскости $z = x + iy$.

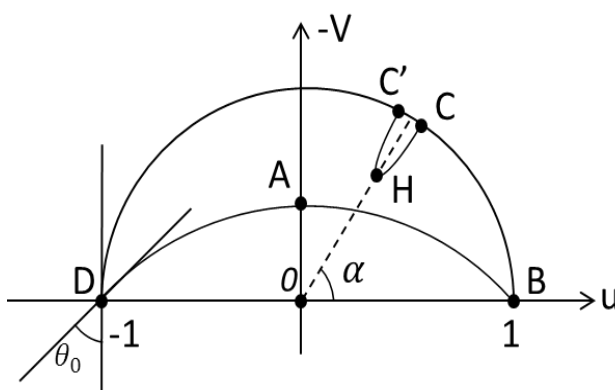


Рис.2 Область течения в плоскости годографа $\zeta = u - iv$.

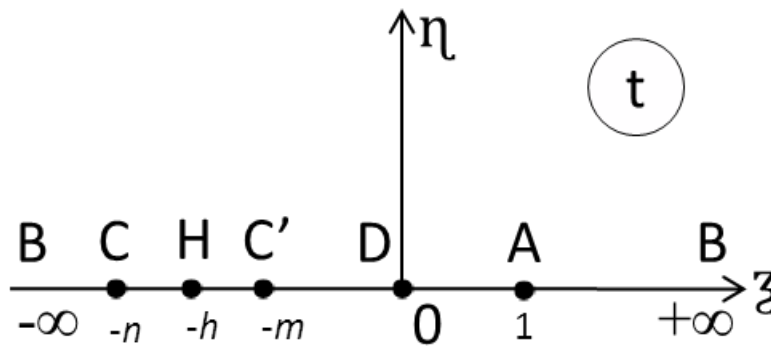


Рис.3 Параметрическая плоскость $t = \xi + i\eta$.

Как известно, что математическая теория плоских течений идеальной жидкости определяется с тремя комплексными величинами: координатной точки $z = x + iy$, комплексным потенциалом $w = \varphi + i\psi$ и комплексной (сопряженной) скоростью $\bar{z} = u - iv$ от вектора скорости $\vec{z} = u + iv$.

Предполагается, что скорость на поверхности струи постоянна и равна V_0 . За проницаемой поверхностью ($y < 0$) находится зона завихренного течения с прямолинейными линиями тока. Это явление связано с постоянством давления во вторичном потоке. Проницаемый контур моделируется поверхностью гидродинамического разрыва с граничными соотношениями вида [1,2]:

$$V(x, +0) = V(x, -0) \equiv V_n, \quad (1.1)$$

$$k\rho V_n = P(x, -0) - P(x, +0), \quad (1.2)$$

$$u(x, +0) = 0. \quad (1.3)$$

В области безвихренного движения ($y > 0$) перед контуром справедлив интеграл Бернулли:

$$\rho(u^2 + v^2) + 2P = \rho v_0^2 + 2P_0.$$

С помощью (1.2) и постоянством давления во вторичном потоке получим граничное условие задачи [2].

$$u^2 + v^2 + 2a_0 v = 1, \quad (1.4)$$

здесь u и v – безмерные величины, $a_0 = k/V_0$.

Следовательно, задача имеет следующие краевые условия: на DABсоотношение (1.4), на линиях ВСи С'Dусловия постоянства давления, которые эквивалентно условию $u^2 + v^2 = 1$, на АН условие непроницаемости $u = 0$.

2. Для построения решения в области безвихревого движения отобразим область изменения комплексной скорости

$z = dw/(V_0 dz)$ наверхнюю полуплоскость параметрического переменного $t (Imt \geq 0)$ (рис.3) и используем функцию Х. А. Рахматулина [1,2].

В плоскости годографа $z = u - iv$ область течения СНС'DA соответствует круговая луночка (рис.2). Свободные линии тока ВСи С'D на которых выполняется условие $u^2 + v^2 = 1$, переходит в дугу единичной окружности, лежащую в верхней полуплоскости z .

Стенкам канала соответствует разрез СНС'. Соотношение (1.4) на проницаемой поверхности равносильно условию

$$(v + a_0)^2 + u^2 = (\sqrt{1 + a_0^2})^2,$$

поэтому линии DAB соответствует дуга окружности с центром в точке $(0; -a_0)$ и радиусом $\sqrt{1 + a_0^2}$, эта окружность проходит через точки D и Вс координатами $(-1; 0)$ и $(1; 0)$ и пересекает ось v в точке

$$(0; \sqrt{1 + a_0^2} - a_0).$$

Найдем конформное отображение z на t с помощью нескольких последовательных конформных отображений [4]:

$$z = \frac{dw}{V_0 dz}, z_1 = \frac{z+1}{z-1}, z_2 = z_1 \cdot e^{i\lambda_0}, z_3 = (z_2)^{\pi/\theta_0};$$

$$z_n = \ln \frac{z_3}{|z_{1c}|} = \ln \left\{ A_1^*(t)^{C_1} \cdot \frac{B_1^*(t)}{n_1} \right\}; \lambda_0 = \frac{\pi}{2} + \theta_0;$$

$$A_1^*(t) = \frac{\sqrt{1+m}-\sqrt{1+n}}{\sqrt{1+m}+\sqrt{1+n}} \cdot \frac{\sqrt{t+m}+\sqrt{t+n}}{\sqrt{t+m}-\sqrt{t+n}}; C_1 = \frac{\sqrt{n \cdot m}}{h} = \gamma_0;$$

$$B_1^*(t) = \frac{\sqrt{n} \cdot \sqrt{t+m} - \sqrt{m} \cdot \sqrt{t+n}}{\sqrt{n} \cdot \sqrt{t+m} + \sqrt{m} \cdot \sqrt{t+n}} \cdot \frac{\sqrt{n} \cdot \sqrt{1+m} - \sqrt{m} \cdot \sqrt{1+n}}{\sqrt{n} \cdot \sqrt{1+m} + \sqrt{m} \cdot \sqrt{1+n}};$$

$$n_1 = |Z_{1c}| = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}.$$

θ_0 – угол между касательными линиями в точке D (B)(рис.2).

Отображение дает формула

$$Z(t) = -\frac{1+e^{i\lambda_0 \cdot \{A_1^*(t)C_1 \cdot B_1^*(t)\}^{\theta_0/\pi}}}{1-e^{i\lambda_0 \cdot \{A_1^*(t)C_1 \cdot B_1^*(t)\}^{\theta_0/\pi}}}, \quad (2.1)$$

при этом обеспечено нужное соответствие характерных точек границы:

$$Z(\pm 0) = -1, \quad Z(\pm \infty) = 1, \quad Z(1) = \sqrt{1 + a_0^2} - a_0, \quad Z(-n) = e^{id},$$

$$Z(-h) = r \cdot e^{id} \quad (r = V_H/V_0).$$

3. Далее будем искать $z = z(t)$. Сначала найдем вспомогательную функцию, так называемую функцию X. А. Рахматулина[1,2].

$$X(t) = \ln \frac{dz}{dt} = a + ib. \quad (3.1)$$

Так как $\ln \frac{dz}{dt} = \ln \left| \frac{dz}{dt} \right| + i \arg \left(\frac{dz}{dt} \right)$. Нам надо найти $\text{Im} X(t) = b = \arg \left(\frac{dz}{dt} \right)$, где $\arg \left(\frac{dz}{dt} \right)$ есть угол поворота бесконечно малого вектора при переходе от плоскости t к плоскости z . Далее, будем искать $b(t)$ при $t = \xi$.

Из рис.1 и 3 видно, что:

$$\text{при } (-\infty < \xi < -n), \quad (BC) \quad b(\xi) = \pi/2 + \alpha + \Lambda_1(\xi);$$

$$(-n < \xi < -h), \quad (CH) b(\xi) = \pi/2 + \alpha, \quad (\text{стенки канала});$$

$$(-h < \xi < -m), \quad (HC') b(\xi) = -\alpha, \quad (\text{стенки канала});$$

$$(-m < \xi < 0), \quad (C'D) \quad b(\xi) = -\pi + \Lambda_2(\xi);$$

$$(0 < \xi < 1), \quad (DA) b(\xi) = 0;$$

$$(1 < \xi < +\infty), \quad (AB) b(\xi) = 0. \quad \Lambda(\xi) = \arctg \frac{V(\xi, 0)}{u(\xi, 0)}.$$

Упростим расчеты, для чего сделаем дополнительное дробно-линейное преобразование верхней полуплоскости t на себя:

$$t \rightarrow w, \quad w = -\frac{t}{t-2}, \quad t(w) = \frac{2w}{1+w},$$

здесь w – новая функция, а не комплексный потенциал. Перейдем к модифицируемым функциям

$X_1(w), \Lambda_1(\gamma)$ и $\Lambda_2(\gamma) (\gamma = Rew)$:

$$X_1(w) = X[t(w)]; \quad \Lambda_1^*(\gamma) = \Lambda_1\left(\frac{2\gamma}{1+\gamma}\right); \quad \Lambda_2^*(\gamma) = -\pi \cdot \Lambda_2\left(\frac{2\gamma}{1+\gamma}\right); \quad (3.3)$$

откуда можно найти аналитическую функцию $X_1(w)$ по значению ее мнимой части на действительной оси γ :

$$\text{EB: } -\infty < \gamma < -1, \quad b(\gamma) = 0,$$

$$\text{BC: } -1 < \gamma < -n_1, \quad b(\gamma) = \pi/2 + \alpha + \Lambda_1^*(\gamma),$$

$$\text{CH: } -n_1 < \gamma < -h_1, \quad b(\gamma) = \pi/2 + \alpha,$$

$$\text{HC': } -h_1 < \gamma < -m_1, \quad b(\gamma) = -\alpha,$$

$$\text{C'D: } -m_1 < \gamma < 0, \quad b(\gamma) = -\pi - \pi\Lambda_2^*(\gamma),$$

$$\text{AD: } 0 < \gamma < 1, \quad b(\gamma) = 0,$$

$$\text{AE: } 1 < \gamma < +\infty, \quad b(\gamma) = 0.$$

$$\left(n_1 = \frac{-n}{n+2}, \quad m_1 = \frac{-m}{m+2}, \quad h_1 = \frac{-h}{h+2} \right)$$

Функцию $X_1(w)$ можно восстановить по формуле Шварца [4]:

$$X_1(w) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\text{Im} X_1(\gamma)}{\gamma - w} d\gamma + C = \ln \left\{ \frac{h_1 + w}{1 + w} \right\}^{1/2} \cdot \left\{ \frac{(h_1 + w)^2}{w(1 + w)} \right\}^{\alpha/\pi} \cdot \exp \left\{ \frac{1}{\pi} \int_{-1}^{-n_1} \frac{\Lambda_1^*(\gamma)}{\gamma - w} d\gamma - \int_{-m_1}^0 \frac{\Lambda_2^*(\gamma)}{\gamma - w} d\gamma \right\} + C.$$

здесь C – произвольная действительная постоянная. Используя (2.1)–(3.3), находим искомую постоянную $Z(t)$ в виде

$$Z(t) = C_0 \int_1^t \left\{ \frac{((1-h_1)\tau + 2h_1)}{2} \right\}^{1/2} \cdot \left\{ \frac{(((1-h_1)\tau + 2h_1)^2)}{2\tau} \right\}^{\alpha/\pi} \cdot \exp \left\{ \frac{1}{\pi} \int_{-1}^{-n_1} \frac{\Lambda_1^*(\gamma)}{\gamma - \frac{\tau}{2-\tau}} d\gamma - \int_{-m_1}^0 \frac{\Lambda_2^*(\gamma)}{\gamma - \frac{\tau}{2-\tau}} d\gamma \right\} d\tau. \quad (3.4)$$

$$\Lambda_1^*(\gamma) = \Lambda_2^*(\gamma) = -\frac{\pi}{\alpha} \arctg \frac{2[A_*^{C1}(\gamma) \cdot B_*(\gamma)]^{\theta_0/\pi}}{1 - [A_*^{C1}(\gamma) \cdot B_*(\gamma)]}. \quad (3.5)$$

Формулы (2.1) и (3.4) дают параметрическое решение задачи о набегании плоской струи, вытекающей из канала идеальной несжимаемой жидкости на бесконечную плоскую проницаемую поверхность. Положительная действительная постоянная C_0 в (3.4) определяется из условия, что ширины канала известны (L). Вычислим геометрический элемент L (ширины канала) рис.1. Очевидно $q = LV_H$ откуда $L = q/V_H$. Скорость V_H в канале определяется

формулой $\frac{V_H}{V_0} e^{i\alpha} = \left(\frac{dw}{V_0 dz} \right)_H$; откуда $V_H = V_0 e^{i\alpha} \Im(-h)$.

$$\text{Следовательно, } L = \frac{q}{V_0 \cdot \Im(-h)} e^{i\alpha} \quad (3.8).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахматулин Х.А., Гувернюк С.В., О постановке задач обтекания проницаемых тел несжимаемой средой.// Парашюты и проницаемые тела. М.: Изд. МГУ, 1987. С. 5-24.
2. П.Р.Андронов, С.Б.Гувернюк. Решение задачи о плоской струе, натекающей на бесконечный проницаемый экран// Проблемы современной механики. М.: Изд. МГУ Ин-т механики 1998. С.179-185.
3. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. Изд. 4-е М.: Наука 1973. 606с.
4. Абдылдаев М.Ю., Шамурзаев К.Т. Решение задачи о симметричном обтекании проницаемой пластинки струей вытекающей из канала. Вестник. КНУ им.Ж.Баласагына. Вып.1. Бишкек. 2013. С. 6-10.

ИНЕРЦИОННЫЙ СЦЕНАРИЙ РАЗВИТИЯ ЗОЛОДОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Толобекова Б.Т., Кожогулов Б.К., Русакова Н.Л.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, ПИЦ «Кен-Тоо»

Для оценки перспектив развития золотодобывающей отрасли как доминирующего сектора горнодобывающей промышленности Кыргызской Республики применены углубленные расчеты по инерционному сценарию во временном интервале 2013-2052 гг.

Инерционный сценарий предполагает, что управление отраслью не будет реформировано и предлагаемые в данном стратегическом документе рекомендации не будут исполнены в полной мере. При этом, инвестиции удастся обеспечить, хотя и на жестких условиях. Учитывая, что большинство месторождений до сих пор остаются малоизученными, инерционный сценарий предусматривает неподтверждение прогнозных ресурсов в полном объеме.

По каждому оцениваемому месторождению рассматривались запасы и ресурсы различных категорий, но в расчетах учитывались с различными коэффициентами достоверности, а именно, к категории запасов C_2 применили коэффициент 0,9, к категории прогнозных ресурсов P_1 – 0,5, P_2 – 0,3 и коэффициент дисконта с учетом рекомендаций данной стратегии принят равным 10%.

В качестве критерия оценки принято, какраспространенным и достоверным методом стоимостной оценки месторождений во всем

мире, чистая текущая стоимость (NPV), а как ограничение – внутренняя норма прибыли (IRR) [1].

Для расчетов мировая цена золота принята равной 1400\$/oz, ставка дисконтирования – 15%. Затраты оценивались на основе объектов-аналогов, а также фактической информации функционирующих предприятий. Применяемые ставки налогов соответствуют действующему Налоговому кодексу и Закону о недрах в Кыргызской Республике.

Полученные величины чистой текущей стоимости приравниваются к коммерческой стоимости месторождений.

В предлагаемом прогнозном варианте оценки, начиная с первого года эксплуатации объекта (или группы объектов) и до конца разработки, согласно методическим рекомендациям по проведению стоимостной оценки месторождений, используемые параметры (стоимость золота, эксплуатационные затраты) оставались неизменными по годам их эксплуатации. В расчеты не вводились рост стоимости золота или инфляции, но учитывалось обесценивание со временем прибылей и инвестиционных вложений с помощью учета дисконтной ставки 15%, начиная с первого года осуществления инвестиций.

Экономические условия разработки рассматриваемых месторождений принимались на основании опыта эксплуатации ряда существующих золоторудных объектов. Инвестиционные и эксплуатационные затраты приведены к условиям оцениваемого месторождения с использованием уравнений связи укрупненных нормативных показателей капитальных вложений и себестоимости добычи и переработки руд от производственной мощности предприятия [2].

Стоимостная оценка в масштабах республики проводилась в виде суммы индивидуальных разработок месторождений (таблица 1).

Таблица 1.

Основные результаты финансово-экономической оценки
месторождений

Месторождение	Капит. Затра- ты млн.\$	Стоимо сть товар- ной продук- ции млн.\$	Эксплуа таци- онные затраты млн.\$	Чистый приток млн.\$	ЧДД при ставке дисконта 15% млн.\$	Стои- мость в недрах \$/унц
Месторождение "Кумтор"	95,0	7876,1	3993,22	3787,91	1424,02	215,10
Месторождение "Тоголок"	123,67	625,87	324,96	177,24	50,38	90,14
Месторождение "Джеруй"	300	3131,55	861,28	1970,27	487,02	187,20
Месторождение "Андаш"	141,19	765,00	590,19	524,12	197,03	313,24
Месторождение "Талдыбулак "	170,0	1110,55	652,07	288,48	62,01	66,51
Месторождение "Ширальджин"	60,0	214,34	79,81	74,53	24,36	148,60
Месторождение "Акташ"	100,0	585,83	304,71	181,11	38,93	79,06
Месторождение "ТалдыбулакЛевобережный"	126,19	3173,37	927,13	2120,05	171,31	68,63
Месторождение "Туюк"	60,00	162,54	60,35	42,19	10,43	77,23
Месторождение "Коматор"	45,0	108,63	41,05	22,58	14,85	153,92
Месторождение "Долпран"	40,0	427,66	332,85	54,80	23,69	56,73
Месторождение "Куранджайляу"	120,0	576,45	129,39	327,06	30,39	55,61
Месторождение "Насоновское"	60,0	231,00	75,10	95,90	41,4595	229,81
Месторождение "Булакашинское"	150,0	773,55	383,29	240,26	68,2977	116,72
Месторождение "Мироновское"	74,5	103,05	45,10	74,77	24,4410	239,84
Месторождение "Макмал"	11,0	194,22	89,12	94,14	40,7013	443,14
Месторождение "Иштамберды"	178,0	770,32	253,65	338,67	83,7146	130,66
Месторождение "Куру-Тегерек"	430,1	3772,6	2591,9	750,6	7,45	26,65
Месторождение						

"Бозымчак" участок Центральный	92,55	1602,41	1017,79	492,07	34,5753	43,71
Месторождение "Террекан"	51,3	183,45	37,05	95,10	41,1124	265,43
Месторождение "Терек"	50,0	104,78	30,46	24,32	10,5162	118,00
Месторождение "Перевальное"	80,0	262,84	70,93	111,91	48,3837	246,83
Месторождение "Тохтазан"	55,0	295,06	144,74	95,31	11,7134	48,06
Месторождение "Ункурташ"	220,0	1568,66	858,91	489,74	121,0570	88,58
Месторождение "Чаарат"	500,7	2278,93	1215,95	562,27	138,9854	56,34
Месторождение "Кичисандык"	200,0	1037,61	486,17	351,44	65,6866	75,67
Месторождение "Чалкуйрюк- Акджилга"	100,0	249,15	74,93	74,22	32,0881	162,24
Месторождение "Гавиан"	28,7	44,98	5,05	11,23	7,3858	155,64
Месторождение "Караказык"	60,0	167,46	12,36	95,09	41,1118	230,08
Месторождение "Савоярды"	120,0	363,42	90,17	153,25	50,0987	190,13
Месторождение "Ничкесу"	50,0	97,02	20,57	26,45	9,9453	140,61
Месторождение "Алтын-Джилга"	57,41	229,76	83,01	89,34	33,5871	180,47
Месторождение "Чакуш"	129,56	702,81	280,88	292,37	41,3201	75,54
Месторождение "Апрельское"	32,64	49,32	6,54	10,14	5,7981	139,04
Месторождение "Дуваташ"	56,16	278,82	143,46	79,20	14,8030	56,32
Месторождение "Аугул"	150,00	985,77	581,12	254,65	54,7345	75,66
Месторождение "Чонкимиздыкты"	250,00	1629,79	847,07	532,72	65,4680	46,07
Месторождение "Канызак"	250,00	1272,93	678,33	344,60	74,0700	70,03
Месторождение "Солтон-Сары"						
участок Алтын Тор	45,00	92,57	37,51	10,06	3,2874	42,21
Месторождение "Кумбель"	40,02	57,88	14,53	3,34	1,2543	30,33

При оценке социального эффекта от инвестиций в золотодобычу были рассчитаны прямая, косвенная и индуцированная занятость населения.

Под прямой занятостью понимается количество рабочих мест непосредственно на производстве, определенных на основе проектов-аналогов, типовых проектов.

Косвенный эффект определялся на основе объемных и удельных показателей: величины капитальных вложений и их технологической структуры (стоимость строительно-монтажных работ, стоимость оборудования, затраты на проектные, геологоразведочные, горно-капитальные работы), уровни издержек в торговых наценках, фонд оплаты труда в структуре себестоимости строительства и торговых издержках.

Доля фонда оплаты труда в различных отраслях в структуре затрат составляет от 14-40%, среднемесячная заработная плата принята на уровне 200-500\$, просчитав с помощью структурной группировки затраты по фонду оплаты труда можно рассчитать количество индуцированных рабочих мест. Полученная благодаря дополнительным инвестициям прибыль вновь реинвестируется; рост доходов населения означает повышение уровня внутреннего платежеспособного спроса, что становится добавочным фактором экономического развития, создания рабочих мест, увеличения налоговых поступлений.

Расчет был основан на том, что получая доходы в виде оплаты труда, люди тратят на свои нужды $\frac{2}{3}$ своей заработной платы на товары и услуги. Торговая наценка в расчетах принята в размере 20%, в том числе издержки обращения составляют 14%. По структурной составляющей торговых издержек была определена доля фонда оплаты труда и количество индуцированных рабочих мест.

В прогнозной оценке в расчетах принят коэффициент косвенной занятости - 1,6, рассчитанный на основе данных Нацстаткома КР.

Оценка экономического эффекта от инвестиций в золотодобывающую отрасль производилась с использованием статистических выборок по действующим предприятиям, на основании существующих технико-экономических обоснований, а также построения финансово-экономических моделей (ФЭМ). Капитальные и эксплуатационные затраты оценивались непосредственно по исходным характеристикам месторождений: запасам, содержаниям, коэффициенту сквозного извлечения золота. ФЭМ были просчитаны для 32 месторождений, что практически исчерпывает возможности золотоминерального потенциала страны.

Основные прогнозные показатели золотодобывающей отрасли в средне- и долгосрочной перспективе представлены ниже.

Таблица 2.

Основные показатели золотодобывающей отрасли с разбивкой по периодам освоения (инерционный сценарий)

Индикатор	Ед.из м.	Период отработки		
		2013- 2015гг.	2016- 2023гг.	2024- 52гг.
Добыча руды	тыс.т	22 300	132 009	93 731
Золото в руде	т	60,6	418,2	205,4
Инвестиции, всего	млн.\$	1 179,6	2 215,3	0,0
Объем промышленной продукции (работ, услуг), всего	млн.\$	2 392,4	17 103,7	10 008,6
Общие налоги, всего	млн.\$	412,8	2 854,2	1 702,8
Чистый приток денежных средств	млн.\$	-39,6	7 288,8	4 937,0
Чистая текущая стоимость	млн.\$	15,3	2 337,1	535,0
Оставленная стоимость	млн.\$	772,0	5 034,3	3 157,6

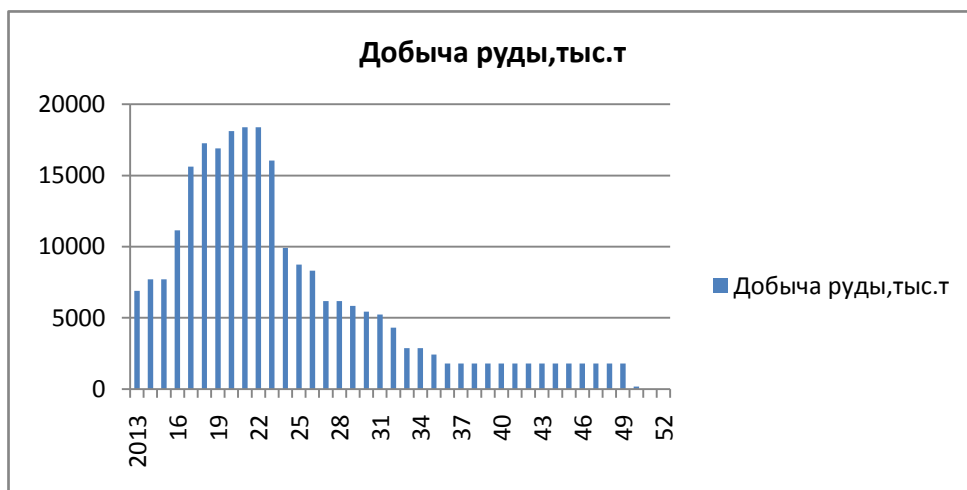


Рис. 1. Динамика изменения объемов добычи руды

Прогноз развития золотодобывающей отрасли обнаруживает три этапа ее эволюции. Первые три года основной объем добычи руды приходится на действующие рудники (Кумтор, Макмал, Солтон-Сары, Терексай, Жамгыр, Каракызак, Иштамберды). Далее с 2016г. прогнозируется энергичный рост объемов производства; наивысшей производительности достигается в 2022г. – свыше 40 тонн золота без учета добычи на месторождении Кумтор и около 60 тонн золота с учетом Кумтора. С 2023г. начинается резкий спад объемов производства по мере завершения отработки месторождений. Концом отработки месторождения Кумтор по предварительным прогнозным данным принимается 2024 г.

Наибольшее количество рабочих мест приходится на 2016-2023гг (свыше 11 тыс. человек среднегодовая прямая занятость и свыше 18 тыс.человек – косвенная) – период предполагаемого одновременного ввода основных мощностей большинства рудников. Среднегодовое количество рабочих мест за период с 2013-2015гг. составит свыше 4 тыс. человек прямая занятость, косвенная и индуцированная занятость в этот период –7 тыс. человек.

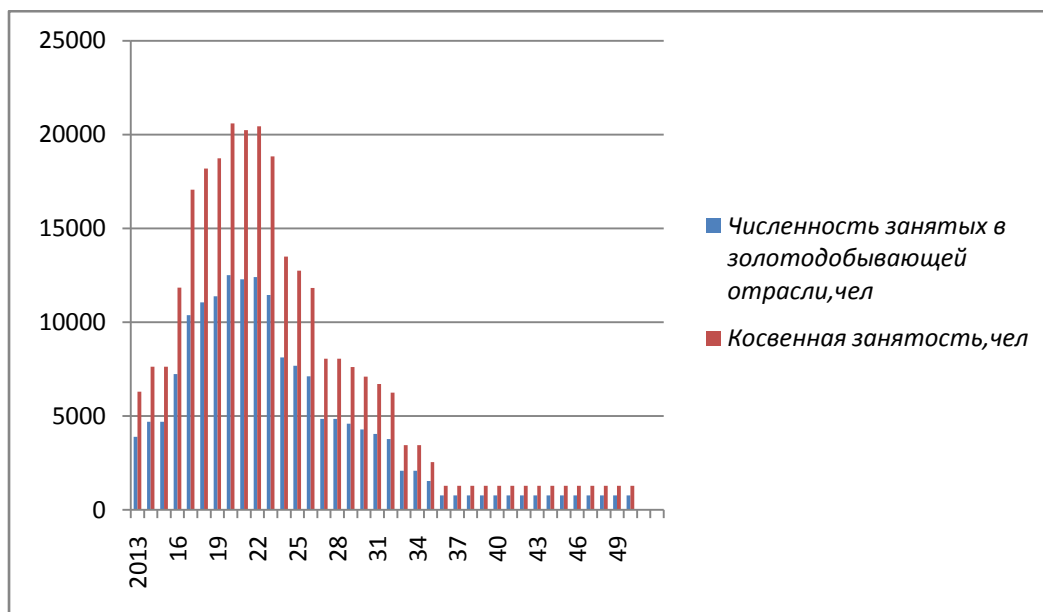


Рис.2. Динамика изменения численности рабочих мест в золотодобывающей промышленности по годам (инерционный сценарий)

Начиная, с 2023 года прогнозируется ежегодное снижение количества рабочих мест, которое в 2037 году падает до отметки 1 тыс. человек – прямая занятость, 1,3 тыс. человек – косвенная.

Следует отметить, что сокращение золотодобычи (начиная с 2023г.) приведет к потере шести тысяч рабочих мест, что составляет около 30% всех занятых в золотодобывающей промышленности и снижение суммы налоговых выплат на 25%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дронов Н.В., Толобекова Б. Оптимизационная оценка горных проектов в современных условиях. Бишкек, Илим, 2003.
2. Толобекова Б. Горно-экономическая оценка нагорных рудных месторождений при их проектировании. Автореферат дисс. на соискание д.т.н., Бишкек, 2007.

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТОГО МАТЕРИАЛА- ЗАПОЛНИТЕЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ТРЕЩИН

Фалалеев Г.Н

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Материал –песчано-глинистый заполнитель трещин, является наиболее слабым звеном по прочности в массиве трещиноватых горных пород. Несмотря на свою малую величину (толщину до 3-5 мм), он определяет степень устойчивости оползнеопасных склонов.

Аналогично этому работают тонкие прослойки галита, сильвинита и глинисто-ангидритового материала в соляном массиве, как это показано для Верхнекамского месторождения калийных солей в работе В.А. Асанова и И.Л. Панькова /1/.

Далее авторы на основании проведенных опытов и анализе данных установили, что для обработки кривых ползучести применима теория вязкопластического течения Бингама-Шведова.

Многими исследователями отмечалось, что материал- заполнитель тектонических трещин или ослабленные породы контактных зон проявляют повышенную способность к вязкопластическому деформированию и ползучести.

Для отработки методики определения реологических параметров предполагается изучить ползучесть при сдвиге суглинистых пород, как заполнителя тектонических трещин на контакте на одноплоскостном сдвиговом приборе П10-1с. Ниже кратко приводится методика определения реологических свойств суглинистых грунтов при сдвиге.

Для определения физико-механических свойств глинисто-песчаного заполнителя тектонических трещин были проведены испытания на сдвиг образцов с нарушенной структурой. Также предполагалось на искусственных образцах определять и реологические свойства заполнителя трещин

Надежность испытаний на длительную ползучесть обусловлена однотипностью свойств изготовленных образцов. Об однотипности искусственных образцов, имеющих одинаковые плотность, вещественный состав и влажность можно судить и по коэффициенту вариации для естественных образцов этот коэффициент превышает 30 % , что требует необходимость испытания более 9 образцов для получения расчетной количественной характеристики. это обстоятельство чрезвычайно осложняет длительные испытания горных пород. Для искусственных образцов при правильном их изготовлении коэффициент вариации составляет не больше 10% и позволяет ограничиться испытанием всего 2-3 образцов.

Методика проведения испытаний на ползучесть при сдвиге.

Методика испытаний на ползучесть предусматривает задание следующих уровней нагрузок: 95;90;85;80;70;60 и 50% от разрушающей нагрузки. Прежде всего определяют разрушающую сдвиговую нагрузку по схеме быстрого сдвига с целью получения характеристик условно-мгновенной прочности .

В ходе опытов фиксируется развитие деформаций образцов пород во времени. Деформации образцов в течение всего срока испытания измеряют индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Отсчеты по индикаторам ведутся через следующие промежутки времени: первые десять мин. ежеминутно, затем через 5, 10, 20 мин. по четыре отчета. Следующие отчеты в первые сутки делают через час. После окончания периода интенсивного развития деформаций ползучести замеры производят один раз в сутки.

Если же наступает период ускоренной ползучести, последовательность промежутков времени между последующими отсчетами принимают обратной периоду затухающей ползучести. Однако число отсчетов через равные промежутки времени будет зависеть от интенсивности развития деформаций ползучести.

Результаты испытаний глинистых грунтов на ползучесть при нагрузках, не превышающих 60% от разрушающих, используют для установления закономерностей затухающей ползучести и ее параметров. Исходным материалом для этого служат семейства кривых ползучести, построенные в координатах "деформация – время", изохронные кривые в координатах "напряжение – деформация" и реологические кривые в координатах "скорость деформации ползучести – напряжение".

Результаты испытаний

Для определения реологических свойств суглинистых грунтов были проведены испытания на сдвиговую ползучесть образцов лессовидных суглинков из оползнеопасного района юга Кыргызстана. Основные водно-физические характеристики этого грунта: влажность -15,3 %, объемная масса -1860 кг/м³, пористость-40%.

Сдвиговые нагрузки прикладывали ступенчато с выдерживанием до условной стабилизации деформаций ползучести. Вертикальные нагрузки оставались постоянными в течение всего периода испытаний.

По данным испытаний были построены графики ползучести при ступенчатом приложении сдвигающих нагрузок (Рисунок 1).

Для наглядности эти графики были перестроены в графики семейств кривых ползучести, совмещенные с началом координат (Рисунок 2).

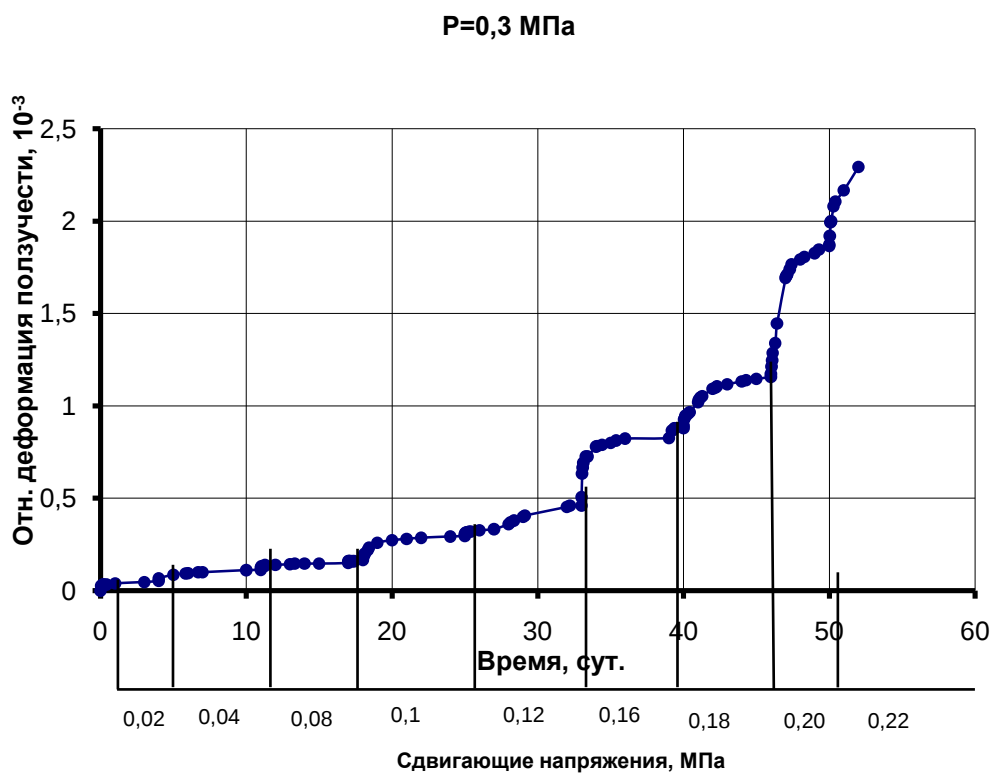


Рис .1.Ступенчатая ползучесть суглинистого грунта при сдвиге при вертикальном давлении $P=0,3 \text{ МПа}$

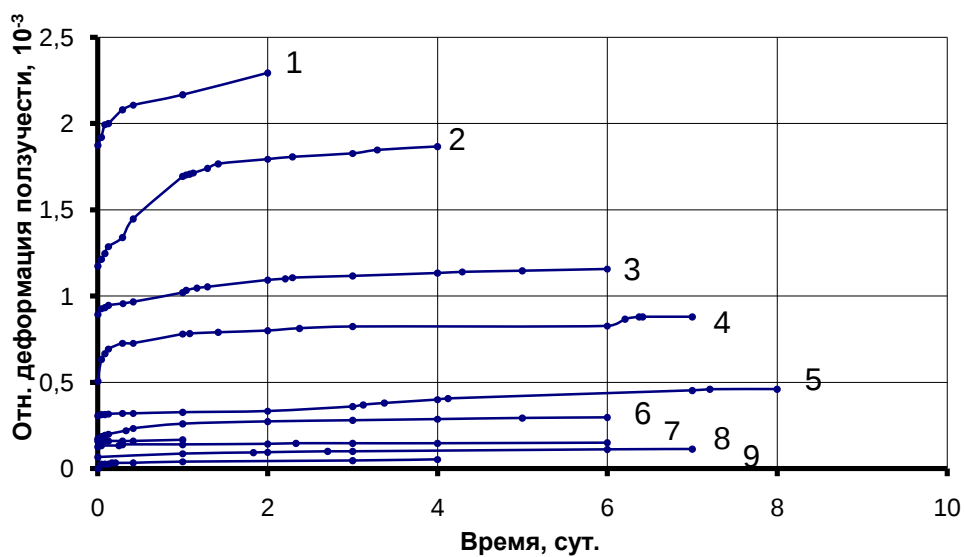


Рис. 2 Совмещенные кривые ползучести суглинистого грунта при ступенчатом приложении сдвигающих нагрузок. При: 1- $T=0,2 \text{ МПа}$; 2- $T=0,18 \text{ МПа}$; 3- $T=0,16 \text{ МПа}$; 4- $T=0,12 \text{ МПа}$; 5- $T=0,1 \text{ МПа}$; 6- $T=0,08 \text{ МПа}$; 7- $T=0,06 \text{ МПа}$; 8- $T=0,04 \text{ МПа}$; 9- $T=0,02 \text{ МПа}$

Дальнейшей обработкой их при различных постоянных вертикальных нагрузках были составлены таблицы скоростей пластического течения и получены реологические кривые. (рисунки 3-4)

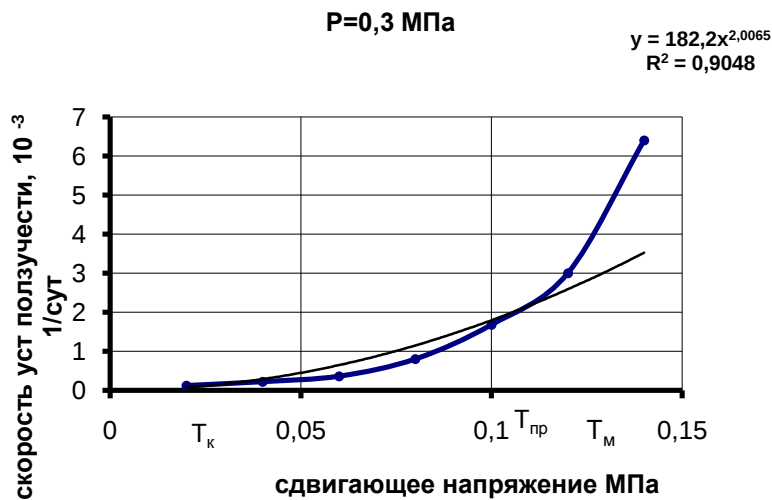


Рис. 3 -Зависимость скорости относительной деформации сдвига от сдвигающих напряжений при вертикальном давлении $P=0,3$ МПа

На этих кривых можно выделить ряд характерных участков. Начальный участок $0 - \tau_k$ этой кривой соответствует нулевой скорости деформаций $dj/dt = 0$ при $\tau = 0,005$ МПа. Это весьма узкий интервал напряжений, который можно рассматривать как область условно-упругих деформаций, в которой вязкость течения предельно высока и на несколько порядков превышает вязкость на соседнем участке $\tau_k - \tau_{пр}$. Существующие в грунте структурные связи сохраняются ненарушенными.

В пределах линейного участка $\tau_k - \tau_{пр}$ на реологических кривых $dj/dt - f(\tau)$ глинистых грунтов это течение характеризуется постоянной и наибольшей вязкостью. Величина этой вязкости определяется по формуле:

$$\eta_{max} = (\tau - \tau_k) / dj/dt. \quad (1)$$

В пределах этого участка структурные связи конденсационно-кристаллизационного типа необратимо нарушаются; степень их нарушения зависит от величины приложенных нагрузок – чем больше

нагрузка, тем сильнее нарушены связи. Связи же коагуляционного типа (ван-дер-ваальсовы и электростатические) хотя и тоже нарушаются, но одновременно восстанавливается эквивалентное количество связей новых.

Непрерывное разрушение и образование коагуляционных связей при медленном установившемся течении без нарушения сплошности структуры грунта рассматривается в литературе как пластическая вязкость/2/. Пластическая вязкость численно равна котангенсу угла наклона линейного участка реологической кривой к оси абсцисс. Ее значение определяется по формуле, выражающей реологическую модель Бингама-Шведова.

$$\tau - \tau_m = \eta_{пл} \, dj/dt. \quad (2)$$

Возвращаясь к анализу реологической кривой на рисунке 3 можно видеть, что в пределах участка $\tau_{пр} - \tau_m$ зависимость криволинейно загибается вверх. Это указывает на то, что в пределах него вязкость пластического течения уменьшается, но при напряжениях τ больше τ_m вновь приобретает линейный характер. Следовательно на этом участке вновь имеет место пластическое течение с постоянной, но уже наименьшей вязкостью, определяемой по формуле:

$$\eta_{мин} = (\tau - \tau_{пр}) / dj/dt, \quad (3)$$

где: $\tau_{пр}$ – условный динамический предел текучести, определяемый на графике $dj/dt - f(\tau)$, как точка пересечения с осью напряжений продолжения второго линейного участка реологической кривой.

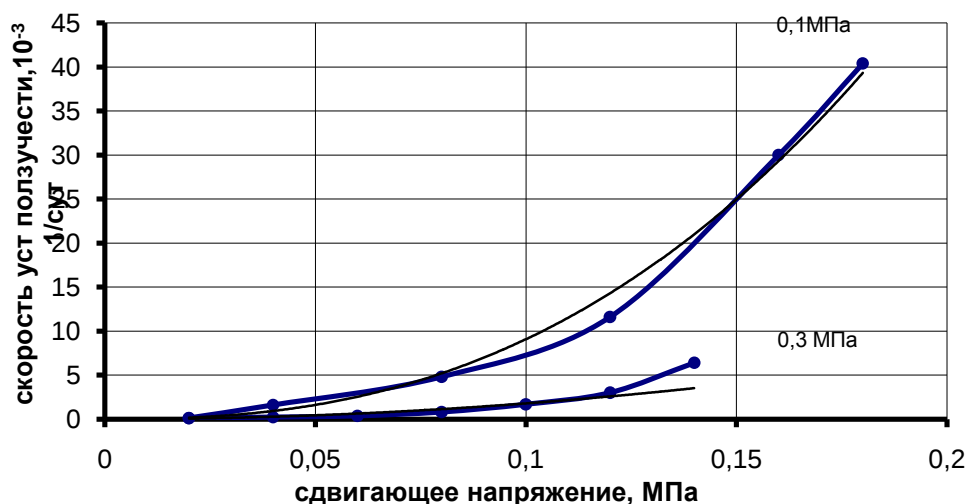


Рис . 4 Зависимость скорости относительной деформации сдвига от сдвигающих напряжений при различных вертикальных давлениях

Из рисунка 4 видно, что и на остальных кривых $dj/dt - f(\tau)$, построенных при меньших вертикальных нагрузках P , также отмечаются два линейных участка с переходным криволинейным участком между ними. Указанный характер этих кривых типичен для связных глинистых грунтов различной плотности и влажности. Так же из этого рисунка можно оценить величину динамического предела текучести, который составил соответственно для вертикального давления 0,1 МПа - 0,002 МПа ; для 0,3 МПа - 0,012 МПа.

Реологические параметры уравнения Бингама- Шведова , вычисленные по формулам (1-3) для различных вертикальных давлений сведены в таблицу.

Таблица.- Показатели реологических свойств суглинистых грунтов

№ п/п	Вертикально е давление, МПа	Предел текучести МПа	Вязкость, Па.с	
			наибольшая	наименьшая
1	2	3	4	5
1	0,1	0,002	$5,8 \cdot 10^{10}$	$5,5 \cdot 10^9$
2	0,2	0,005	$7,6 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^{10}$
3	0,3	0,012	$2,2 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{11}$

ВЫВОДЫ

1. Для описания кривых ползучести суглинистых грунтов при сдвиге - как заполнителя трещин, применима теория вязкопластического течения Бингама-Шведова.
2. При ступенчатом приложении сдвигающих нагрузок при постоянном вертикальном давлении скорость ползучести растет по мере увеличения сдвигающего напряжения и уменьшается с повышением нормального давления.
3. Пластическая вязкость суглинистых грунтов при увеличении сдвигающих нагрузок от 0,02 МПа до 0,22 МПа уменьшается от 10^{12} до 10^9 Па.с, то есть на 3 порядка.
4. Предел текучести суглинистых грунтов с увеличением вертикального давления от 0,1 МПа до 0,3 МПа увеличивается от 0,002 МПа до 0,012 МПа, то есть в 6 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Л. Паньков, В.В. Аникин. Моделирование процесса сдвига по глинистому прослою при различных скоростях нагружения. // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск : изд ИГД СО РАН, 1999.
2. П.А. Ребиндер. О природе пластичности и структурообразовании в дисперсных системах. Изд-во АН СССР, 1966 .

СЕЙСМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ДАМБ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ВОЗВОДИМЫХ ПО МЕТОДУ ВЕРХНЕГО БЬЕФА

Чукин Б.А., Чукин Р.Б., Ким Э.А.

ИГиОН НАН КР

В связи с быстрым наполнением хвостохранилища горнодобывающего комплекса Иштамберды необходимо было произвести наращивание пионерной дамбы.

На первом этапе дамба обвалования первой очереди наращивания соответствовала проектным решениям и имела высоту 3 метра, заложение верхового и низового откосов 1:1.5 при ширине гребня 4 метра.

На втором этапе Заказчик увеличил высоту дамбы обвалования первой очереди наращивания до 5 метров. Заложение низового откоса составило 1:1. Наращивание дамбы до 5 метров привело к тому, что часть основания дамбы обвалования расположилась на гребне пионерной дамбы. При этом, основание частично вышло за пределы узла крепления пленочного экрана на гребне пионерной дамбы. Тем самым, появилась потенциальная возможность формирования пути фильтрации, в результате чего может произойти водонасыщение тела пионерной дамбы при дальнейшем наполнении хвостохранилища, что снизит общую устойчивость пионерной дамбы. Процесс водонасыщения пионерной дамбы подтвердили и фильтрационные расчеты. На рис.1. показана картина водонасыщения пионерной дамбы, когда уровень

воды в прудке находится ниже уровня гребня 5-ти метровой дамбы обвалования первой очереди наращивания на 30 см.

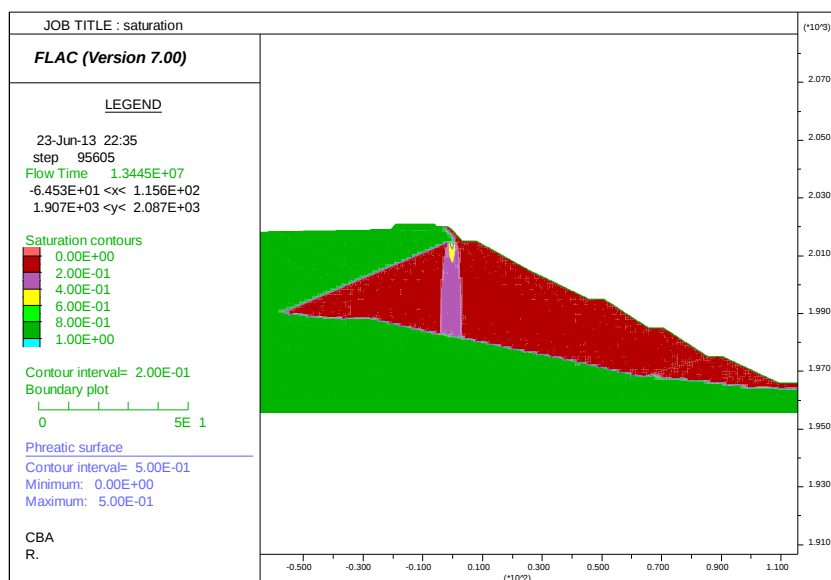


Рис. 1- Картина водонасыщения пионерной дамбы, когда уровень воды ниже уровня гребня дамбы обвалования первой очереди на 30 см.

Опасение вызывает устойчивость дамб обвалования при землетрясении. Район строительства относится к зоне 9-ти балльной интенсивности. При сейсмическом воздействии пульпа способна разжижаться, что приведет к потере устойчивости дамб обвалования и, как следствие, - к развитию гидродинамической аварии. Явление разжижения грунтов возможно выявить на основании численного моделирования.

Отмечаем, что в КР действуют «Межгосударственные строительные нормы. Гидротехнические сооружения. Основные положения. МСН 3.04.-01-2005» [1]. Если определить класс по высоте пионерной дамбы (35 м), тогда класс дамбы можно принять вторым. Требования к оценке сейсмической устойчивости гидротехнических сооружений, отнесенных к I и II классу, необходимо производить по прямому динамическому методу, согласно СНиП КР 20-02:2009 «Сейсмостойкое строительство» [2].

Для анализа сейсмической устойчивости дамбы было выбрано типовое расчетное сечение, состоящее из 3-х метровой дамбы обвалования второй очереди наращивания и 5-ти метровой дамбы обвалования первой очереди наращивания с укреплением низового откоса стенкой из габионов. Отметка гребня 3-х метровой дамбы обвалования второй очереди наращивания 2023.0 м

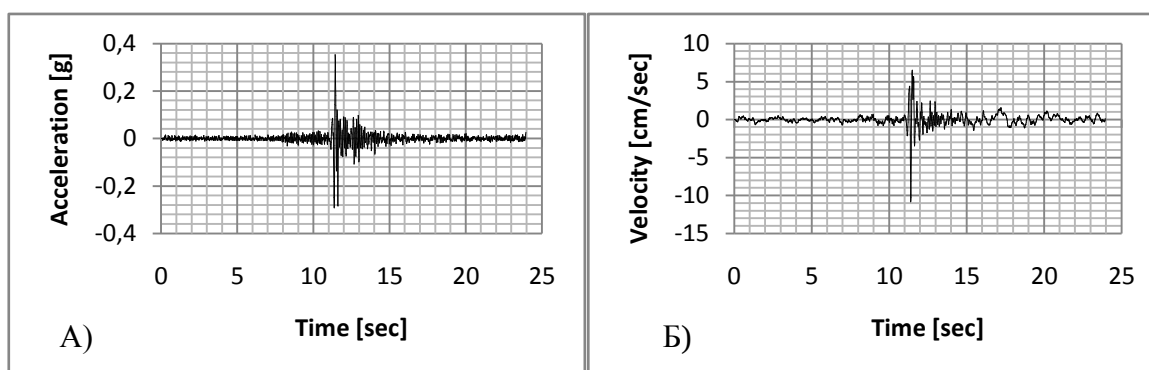
Динамические свойства грунтов определены по формулам, включающих в себя скорости прохождения продольных и поперечных волн, а также плотность материала.

$$C_p = \sqrt{\frac{K + 4G/3}{\rho}} \quad (1)$$

$$C_s = \sqrt{G/\rho} \quad (2)$$

где C_p – скорость прохождения продольной волны; C_s – скорость прохождения поперечной волны; K – динамический модуль упругости объемных деформаций; G – динамический модуль упругости.

Для анализа сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища Иштамберды была выбрана запись акселерограммы «Суусамырского» землетрясения (Кыргызская Республика, Суусамыр, 7 сентября 1992 года, магнитуда афтершока 4.2). Землетрясение «Суусамыр» имеет пиковое ускорение порядка 0.35 g, расчетная пиковая скорость приближается к 11 см/сек, продолжительность 24 сек. На рис.2 представлены записи ускорений, скорости, смещений и спектр Фурье компоненты скорости.



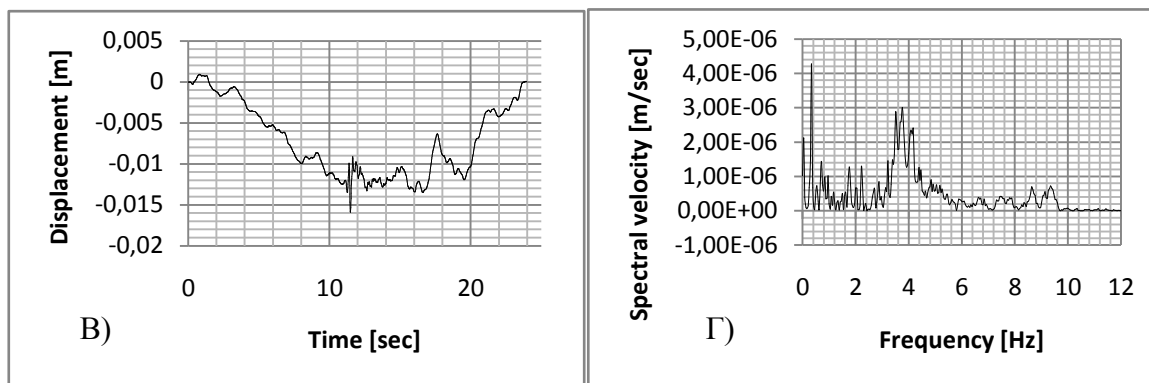


Рис. 2 - Запись землетрясения «Суусамыр»: А) ускорения, Б) скорости, В) смещения, Г) спектр Фурье компоненты скорости.

Большая часть энергетического спектра скорости содержится в среднечастотном диапазоне, но также есть и высокочастотная компонента с хорошо выраженным энергетическим спектром от 8 до 10 Гц. Таким образом, анализ сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища Иштамберды осуществляется при высоко-, средне- и низкочастотных диапазонах скоростей сейсмического воздействия.

Район строительства дамбы Иштамберды, согласно утвержденной «Карте сейсмического районирования Кыргызской Республики», отнесен к 9-ти балльной зоне интенсивности с повторяемостью 1 раз в 500 лет. Возможное пиковое ускорение для таких зон составляет порядка 0.4g. Для решения задачи ввода необходимого сейсмического воздействия, прикладываемого к основанию модели, необходимо осуществить подбор «заданного» пикового ускорения на естественной поверхности при прохождении сейсмических волн через скальное основание дамбы. Для этого были произведены предварительные расчеты. Данный процесс подбора называется деконволюцией. Полученные в результате деконволюции ускорения на поверхности скального основания показаны на рис.3. Пиковые ускорения соответствуют 0,35g.

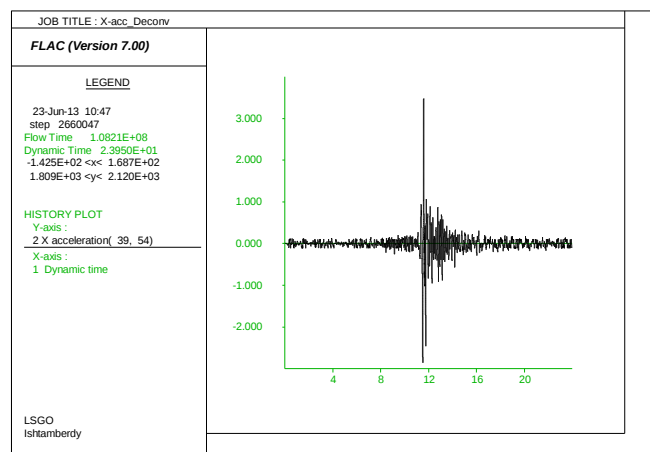


Рис. 3 - Запись горизонтальных ускорений на поверхности расчетной модели основания при приложении «Суусамырского» землетрясения.

Критерии сейсмостойкости являются основой для получения ответа относительно сейсмической устойчивости дамбы хвостохранилища от воздействия землетрясения. До недавнего времени сейсмическая устойчивость оценивалась на основании расчета коэффициента устойчивости для заданной поверхности сдвига. В настоящее время требования к оценке сейсмической устойчивости дамб повысились. Как уже отмечалось, расчеты на сейсмическое воздействие для гидротехнических сооружений II класса необходимо производить по прямому динамическому методу, то есть в рамках динамической теории сейсмостойкости. Оценка сейсмической устойчивости дамб на основе динамической теории сейсмостойкости производится по второму предельному состоянию, то есть по допустимым деформациям. Предельное состояние дамбы характеризуется наличием повреждений (осадок, смещений, трещин), способных привести к нарушению напорного фронта и, как следствие, - прорыву пульпы с образованием волны прорыва. В связи с этим, динамические критерии сейсмостойкости определяют предельно допустимые деформации с точки зрения сохранности напорного фронта. Нарушение напорного фронта связано либо с осадкой гребня дамбы, либо с потерей устойчивости и обрушением откосов с захватом гребня дамбы. Первый

динамический критерий связан осадкой гребня дамбы. Осадка h гребня дамбы при землетрясении не должна превышать запас между гребнем дамбы и уровнем воды верхнего бьефа, иначе произойдет перелив через гребень:

$$h < \nabla h = \nabla \Gamma_{p. \text{дамбы}} - \nabla УВП, \quad (3)$$

где $\nabla \Gamma_{p. \text{дамбы}}$ - отметка гребня дамбы; $\nabla УВП$ - отметка уровня воды в прудке хвостохранилища.

Наряду с критерием по осадке в качестве динамических критериев выбираются, деформационные характеристики, развивающиеся в теле дамбы. Выбор в качестве критерия какой-либо деформационной характеристики условен. Эти критерии основаны на сравнении допустимых деформаций с деформациями, развивающимися во время землетрясения. В качестве таких критериев могут быть:

1. Максимальная остаточная горизонтальная деформация в теле дамбы (расчетная область D меньше допустимой).
2. Средняя остаточная горизонтальная деформация по зоне D_1 области D , нормированной по площади Φ , меньше допустимой.
3. Максимальное значение второго инварианта тензора пластических деформаций меньше допустимого.
4. Средняя остаточная деформация по контуру дамбы меньше допустимой.

Все критерии сейсмостойкости сильно скоррелированы между собой, поэтому допустимо применить один из них. Предпочтительнее использовать два критерия: критерий сейсмостойкости V_3 и критерий h осадки гребня дамбы. Формирование поверхности скольжения связано с увеличением приращений пластических деформаций до величин порядка 2-5%. Необходимым условием обрушения откоса является условие, когда сформированная поверхность скольжения пересекает тело дамбы и имеет выход на поверхность откоса. Тем самым, формируется отсек обрушения. При этом, для нарушения напорного

фронта в результате обрушения откоса необходимо, чтобы поверхность скольжения, выходила на верховой откос ниже уровня воды в прудке. Так как дамба имеет конструкцию с возведением вдоль верхового откоса (хвосты являются основанием для дамб вторичного обвалования) в расчете необходимо уделить пристальное внимание возможному разжижению хвостов. Исследования Сида и др. [3] показали, что сейсмическая устойчивость грунтовых дамб достаточно хорошая, за исключением случаев, когда грунты с потенциально возможным разжижением формируют тело дамбы или являются их основанием.

До выполнения расчетов на сейсмическую устойчивость вначале необходимо выполнить фильтрационные расчеты в статическом состоянии дамбы. Фильтрационные расчеты являются обязательными и проводятся для определения положения кривой депрессии и распределения порового давления в водонасыщенных грунтах. Именно распределение порового давления при сейсмическом воздействии играет важную роль в оценке сейсмической устойчивости дамбы. В связи с этим, в расчетах на сейсмическую устойчивость необходимо учитывать реальный объемный модуль упругости воды, равный 2.03×10^9 Па.

На рис.4 представлена картина распределения порового давления и положение кривой депрессии.

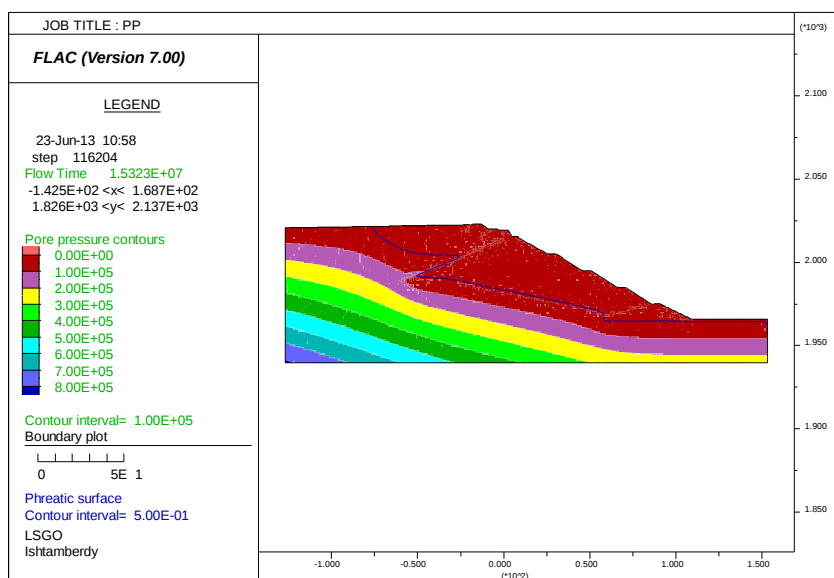


Рис. 4 - Распределение порового давления и положение кривой депрессии.

На рис.5 представлена картина распределения горизонтальных смещений от 23.95 секундного сейсмического воздействия землетрясения «Суусамыр». Наибольшие горизонтальные смещения сконцентрировались вдоль низового откоса. Величина смещений не превышает 4 сантиметра.

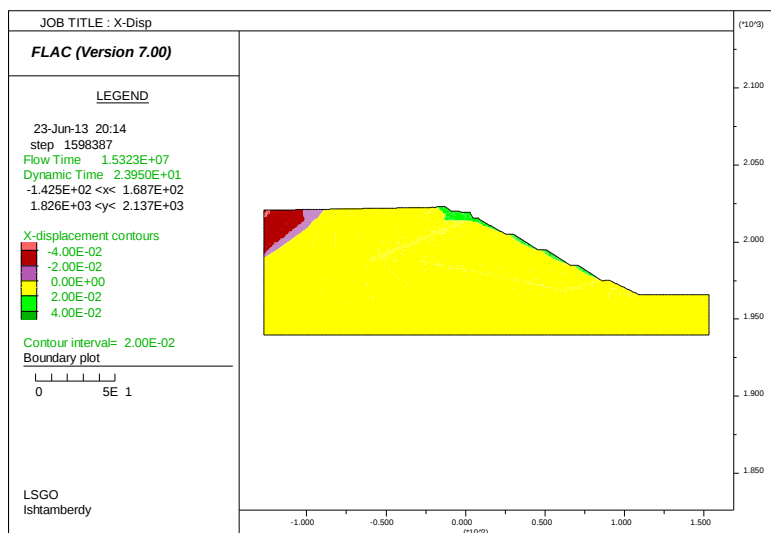


Рис. 5 - Распределение горизонтальных смещений на 23.95 секунде сейсмического воздействия.

На рис. 6 показаны графики горизонтальных и вертикальных смещений гребня дамбы обвалования второй очереди наращивания.

Максимальная величина горизонтальных смещений достигла 2.42 сантиметра, вертикальных - 2.06 сантиметра.

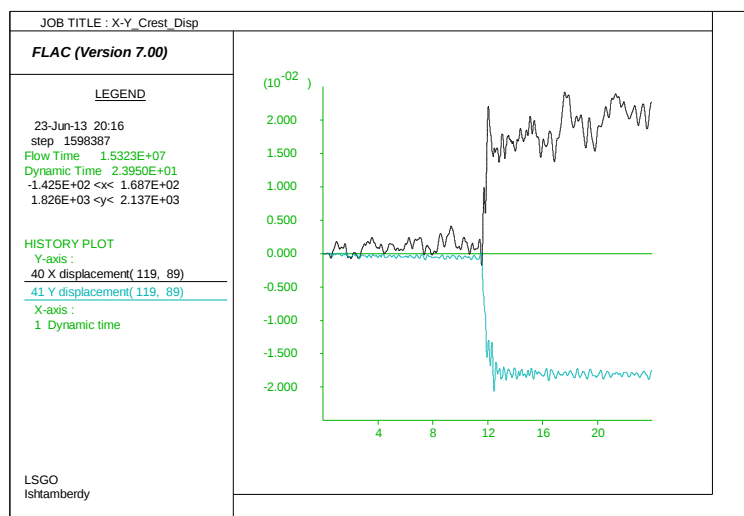


Рис. 6 - Графики горизонтальных и вертикальных смещений гребня дамбы.

В сейсмических расчетах очень важна величина максимальных деформаций сдвига, возникших во время сейсмической нагрузки. Для этого была использована специальная функция, запоминающая значения максимальных пластических деформаций сдвига. На рис.7 представлена картина распределения максимальных пластических деформаций сдвига. Максимальные пластические деформации сдвига составили 1.75% и сконцентрированы вдоль низового откоса. Дамба, согласно выбранным условиям сейсмостойкости, устойчива.

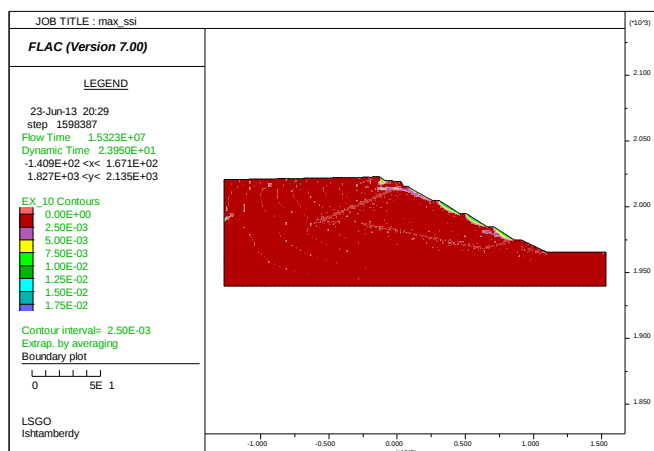


Рис. 7 - Расположения поверхностей скольжения в зависимости от максимальных пластических деформаций.

Для дамб с возведением вдоль верхового откоса очень важно при сейсмических расчетах определять области разжижения хвостов. Разжижение происходит в тех локациях, где отношение порового давления к эффективному сдерживающему напряжению превышает 0.9. Расчеты показали, что водонасыщенные хвосты от данного сейсмического воздействия разжижаются. Данный вид дамб очень чувствителен к положению кривой депрессии.

Согласно методике расчета, предложенной профессором Сиидом [3] в тех локациях, где отношение напряжений выше 0.9 после сейсмического расчета, значение угла внутреннего трения приравнивается 0 и производится статический расчет. В результате статического расчета выявляется положение поверхности сдвига после разжижения. На рис. 8 представлено положение поверхности сдвига после разжижения хвостов. Поверхность сдвига проходит через разжиженные хвосты и дамбы обвалования.

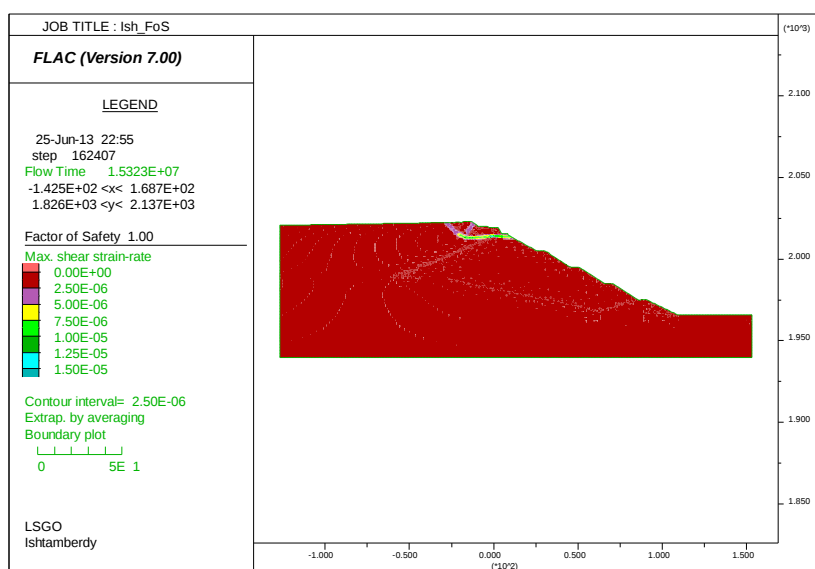


Рис. 8 - Контур максимальных касательных деформаций после разжижения хвостов.

Коэффициент устойчивости приближается к предельному значению, но дамба остается стабильной.

Максимальное значение горизонтальных смещений достигает 45 см. Максимальное значение вертикальных смещений составляет 25 см.

Расчеты на сейсмическую устойчивость показали важность мониторинга за положением уровня воды в прудке. Необходимо строго соблюдать, чтобы уровень воды в прудке не поднимался выше отметки, соответствующей ∇ Гр. дамбы – 1,5 м.

ЛИТЕРАТУРА

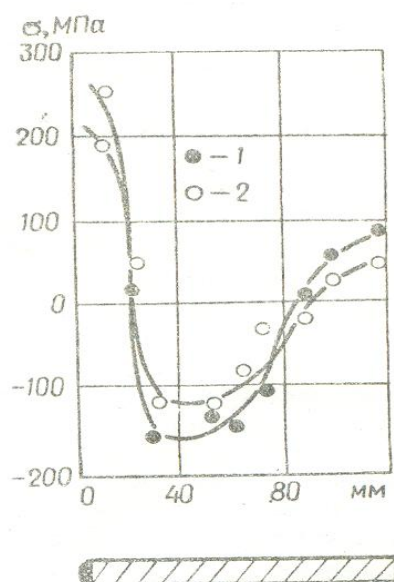
1. МСН 3.04.-01-2005. Межгосударственные строительные нормы. Гидротехнические сооружения. Основные положения.
2. СНиП КР 20-02:2009. Сейсмостойкое строительство.
3. SPT-Based Analysis of Cyclic Pore Pressure Generation and Undrained Residual Strength (Анализ возникновения циклического порового давления на основе SPT и остаточная прочность недренированного грунта), 1993 г.

БОЛОТ ПЛИТАСЫНДАГЫ ШИРЕТҮҮДӨН КАЛГАН КАЛДЫКТУУ ЧЫҢАЛУУНУ ИЗИЛДӨӨ

Акматалиева М.С.

Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Ширетүү учурунда чоңдугу боюнча маанилүү калдыктуу чыңалуулар түзүлөрүн Е.О.Патон атындагы Электр ширетүү Институтундагы алынган жыйынтыктар[1,2] күбөлөндүрөт. Ширетүүдө металлдын эрүү температурасынан жогору болгон жылуулук металлдын жалпы көлөмүнүн бирдей эмес ысышына алып келет. Жылуулук чыңалуусу чоңдугу боюнча ширетүү тилкесинин жанында «агуучулуктун жогорку чегине» жетип, температура өтө жогору болгон жерлерде кайра калыбына келгис деформацияланат. Муздагандан кийин, металлда серпилгичтик чегинде калдыктуу чыңалуулар пайда болот. Е.О.Патон атындагы Электр ширетүү Институтунда ширетилген болот плитасын ультраүн методу жана тензометрлер менен өлчөө (жүктөн бошотуу методу) методунун жардамы менен изилдөөлөрдүн жыйынтыгынын негизинде тургузулган калдыктуу чыңалуунун графиктери көрсөтүлгөн (1 сүрөт, график 1,2).

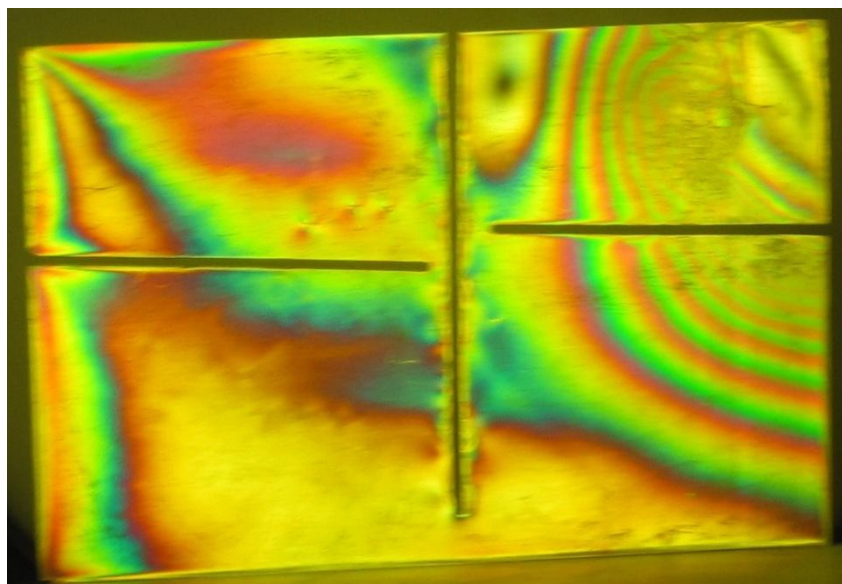


сүрөт. Е.О.Патон атындагы Электр ширетүү Институтунда ультраүн методу(1) жана “жүктөн бошотуу” методу (2) менен изилденген, бир жагынан ширетилген болот (сталь 09Г2С) плитасындагы калдыктуу чыңалуунун графиктери.

Жогорудагы эки метод менен өлчөөдөгү калдыктуу чыңалуунун чоңдуктарынын айырмаланышы плитаны кескендеги жаңы бетти түзүүдө (жүктөн бошотуу методу) калдыктуу чыңалуунун толук эмес чыгарылышы менен түшүндүрүлөт.

Мурда белгилүү болгондой платага жайгаштырылган тензометрлер менен калдыктуу чыңалууну өлчөөдө плитаны бөлүктөргө кесип, жыйынтык алынат. Бөлүктөргө кескенде кесиндинин туурасы 10 мм.ди түзүп, бул кесүү аралыгы менен калдыктуу чыңалууну толук релаксациялоого мүмкүнчүлүк болбойт. Бөлүктөргө кескенден кийин деле ал кесиндилерде калдыктуу чыңалуунун жогорку чоңдуктары кала бере тургандыгын кошумча изилдөөлөр көрсөттү

Өзгөчө күчтүү байланышкан пластикалык материалды, тактап айтканда эпоксид смоласынан даярдалган пластинаны жүктөн бошотуу методу менен изилдөөдөн кийинки жыйынтыктар муну далилдеди. (2 сүрөт).



сүрөт. Жаңы беттер түзүлгөндөн кийинки калдыктуу чыңалуусу бар
пластинка (эпоксид смоласы ЭД

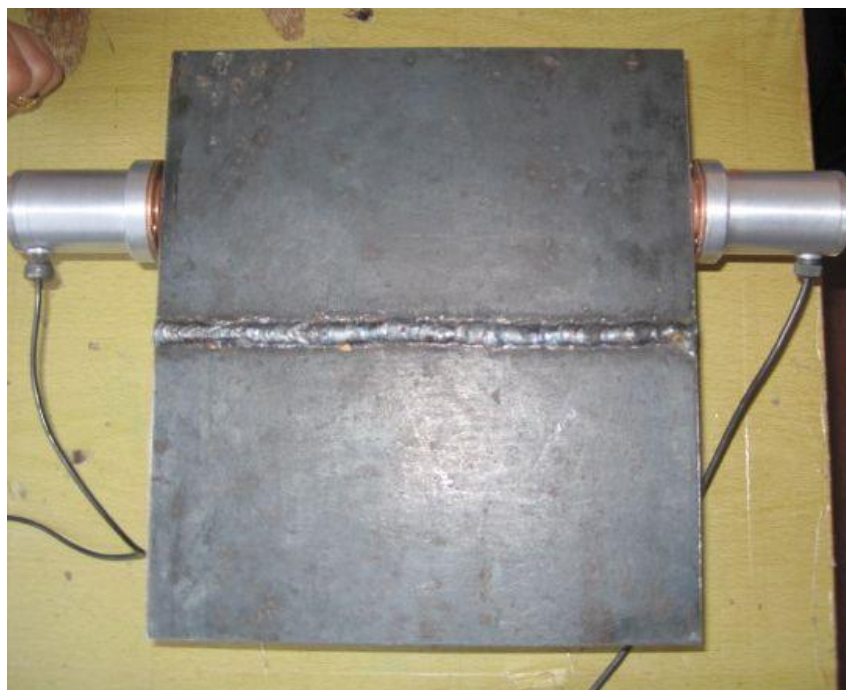
Тензометрлер менен өлчөө (жүктөн бошотуу методу) жалпы эле катуу заттарда, калдыктуу чыңалууну аныктоонун эң натыйжалуу жана кененирээк колдонулган метод болуп эсептелип жүргөндүгүнө карабай, бул метод эмгекти өтө көп талап кылат жана калдыктуу чыңалуунун канчалык деңгээлде бошотулушу жөнүндөгү суроо азыр да чечилбеген бойдон калып келет.

Алынган графикти (1 сүрөт) анализдеп карап көрсөк, «жүктөн бошотуу» методу менен табылган калдыктуу чыңалуунун маанилерине караганда, ультраүн методу менен өлчөнгөн калдыктуу чыңалуунун маанилери чоң экендиги көрүнүп турат.

Ультраүн методу менен калдыктуу чыңалууну аныктоо жүктөн бошотуу методуна караганда талашсыз артыкчылыкка ээ экендигин төмөндө көрсөк болот. Биз эриген абалдагы материалдын бирдей эмес муздашынан пайда болгон калдыктуу чыңалуунун үлгүсү катары, ширетүүдөн калган калдыктуу чыңалууну изилдедик.

Изилдөө үчүн болот плитасынын (сталь 3) орто бөлүгүндө ширетилген тилке түзүлдү (плитанын өлчөмү: 220 x 245 x 20мм., 3 сүрөт

). Ширетүү үчүн эң алгач плитанын ортоңку бөлүгүндө эки жагынан терең эмес, туурасынан кеткен өлчөмү мм оюк түзүлдү, оюктардын ортосунан бүтүн бөлүк (целик) калтырылды, андан кийин ушул оюктар эки жагынан ширетилди. Ширетилген болот плитасындагы калдыктуу чыңалууну изилдөөдө уюлдашкан туурасынан тараган ультраүн толкундары пайдаланылып, плитанын туурасын бойлой ширетилген тилкеге жарыш багыттагы ультраүн ылдамдыктары аныкталды (4 сүрөт).

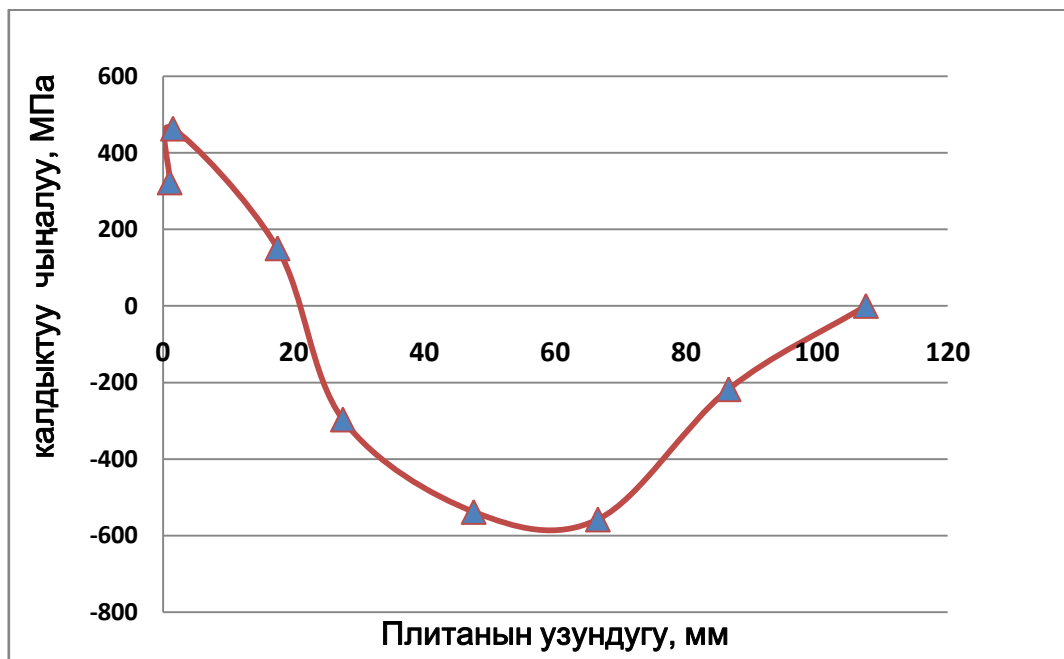


сүрөт. Ширетилген тилкеси менен болот плитасы, уюлдашкан туурасынан тараган ультраүн толкундары аркылуу ширетилген болот плитасынын калдыктуу чыңалуусун аныктоо (сталь 3, плитанын өлчөмү 220 x 245 x 20 мм., ультраүн толкундары поляризация вектору ширетилген тилкеге тик багытта).

Туурасынан тараган уюлдашкан ультраүн толкундарынын ылдамдыгынын салыштырма чоңдуктары боюнча жана К. Тажибаев аныктаган формуланын негизинде (формула 1) ширетилген болот плитасындагы калдыктуу чыңалуунун чоңдуктары аныкталды жана графиги тургузулду [4].

$$\sigma_x = \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1 \right) K_z \quad \sigma_y = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1 \right) K_x \quad \sigma_z = \left(\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1 \right) K_y$$

Ширетилген болот плитасынын калдыктуу чыңалуусун уюлдашкан ультраүн методу менен изилдөөнүн жыйынтыгы, ширетилген тилкенин өзүндө жана ширетилген тилкеге жакынкы аралыкта байкалаарлык созулуу калдыктуу чыңалуусу бар экендигин көрсөттү. Ширетилген тилкеден алыстаган сайын созулуу калдыктуу чыңалуусу азайат да, кысылуучу калдыктуу чыңалуусу пайда болот, ширетүү тилкесинен андан ары алыстаган сайын кысылуучу калдыктуу чыңалуусу да азайа баштайт.



сүрөт. Ширетилген болот плитасынын ширетүү тилкесинен оң тарапты көздөй калдыктуу чыңалууну изилдөө жыйынтыгынын негизинде тургузулган график.

Уюлдашкан туурасынан тараган ультраүн толкундары жана негизделген формуланын [1] жардамы менен табылган ширетүүдөн калган калдыктуу чыңалуунун чоңдуктары жана багыттары Е.О.Патон атындагы Электр ширетүү Институтунда “жүктөн бошотуу” методу жана

ультраүн методун колдонуп ширетүүдөн кийинки калдыктуу чыңалуунун маанилери менен жакшы дал келип жаткандыгын белгилөөгө болот.

Жыйынтыктар

“Жүктөн бошотуу” методунда бөлүктөргө кескенден кийин деле, ал кесиндилерде калдыктуу чыңалуунун жогорку чоңдуктары кала бере тургандагын көрдүк, бул болсо тензометрлер менен өлчөөнүн жыйынтыгынын төмөндөшүнө алып келет.

Уюлдашкан ультра үн методу менен ширетүүдөн калган калдыктуу чыңалуу бир өңчөй бөлүнбөй тургандыгын көрдү тилкенин өзүндө жана ширетилген тилкеге жакынкы аралыкта созулуу калдыктуу чыңалуусу ал эми тилкеден алыстаган сайын кысылуу калдыктуу чыңалуусу бар экендиги аныкталды жана Е.О. Патон атындагы электр ширетүү Институтунда алынган ширетүүдөн кийинки калдыктуу чыңалуунун маанилери менен жакшы дал келип жаткандыгы такталды.

Адабияттар

1. Гузь А.Н., Махорт Ф.Г., Гуша И.О. Введение в акустоупругость. Киев. «Наукова думка». 1977.-с.149.
2. Гуша О.Н. Ультразвуковой метод определения остаточных напряжений. Состояния и перспективы //Экспер. методы исследований деформаций и напряжений. Киев, 1983, -с. 77-81.
3. Финк К., Рорбах Х. Измерение напряжений и деформаций. М., Машгиз, 1961., 536 с.

Тажибаев К.Т. Закон изменения скорости прохождения поляризованной поперечной ультразвуковой волны от напряжения в твердых материалах и его применение // Вестник КРСУ, г., том 11, №11, Бишкек. —с. 151

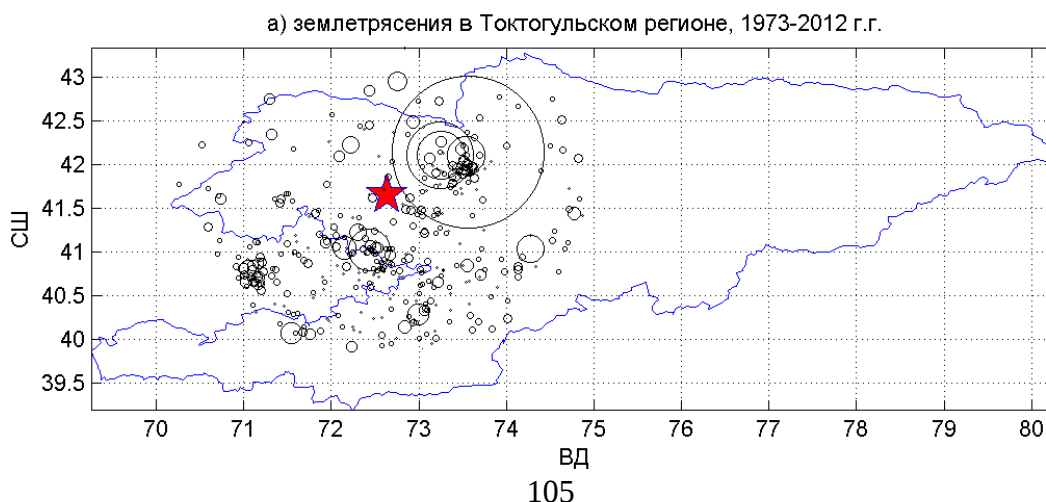
ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТОКТОГУЛЬСКОМ РЕГИОНЕ КР

Манжиков Б.Ц., Тилегенов К.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г.Бишкек

В процессе хрупкого разрушения геосреды при землетрясении упругая энергия, накопленная напряженной средой в области подготовки, переходит в тепло, энергию пластических деформаций, и в малой степени энергию сейсмических волн. Интенсивность сейсмических колебаний в данной точке земной поверхности зависит от гипоцентрального расстояния и энергии землетрясения. Эти величины, как и время возникновения, обычно являются предметом прогнозирования землетрясений.

Рассмотрим энергетический аспект прогнозирования на примере сейсмичности Токтогульского региона КР, где расположена одноименная ГЭС. Источником информации служил региональный каталог сейсмических событий, свободно доступный на сайте Геологической службы США.



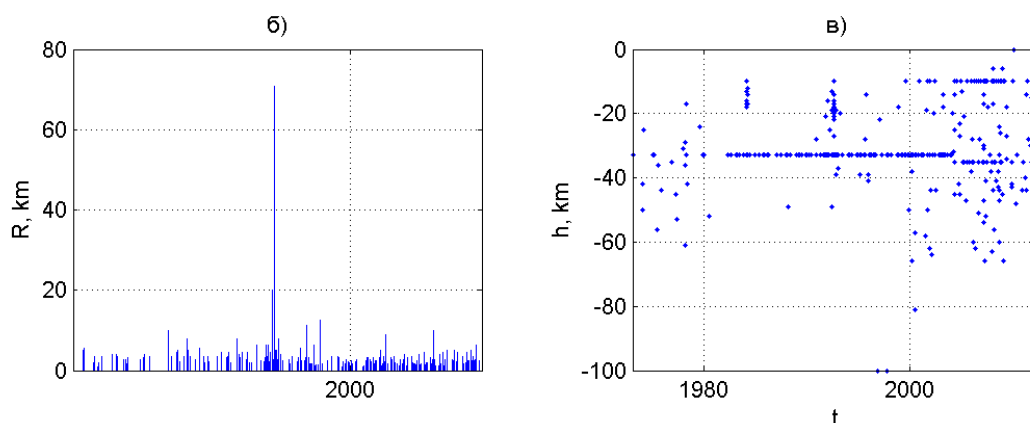


Рис. 1. а) карта эпицентров землетрясений в радиусе 200 км от Токтогульской ГЭС, б) последовательность сейсмогенных разрывов, в) распределение землетрясений по глубине.

В Токтогульском регионе КР ежегодно регистрируются сотни землетрясений магнитудой от 3 до 7. Эпицентры землетрясений, зарегистрированных в радиусе 200 км от Токтогульской плотины в 1973-2012 г.г., представлены на рис. 1а. Отдельным землетрясениям соответствует окружность радиусом, пропорциональным магнитуде: $R \approx 10 \cdot (0.5M - 1.8)$. Месторасположение Токтогульской ГЭС отмечено на карте звездочкой. Распределение сейсмичности в регионе весьма неравномерно. Большинство землетрясений происходит северо-восточнее и юго-западнее Токтогульской ГЭС в пределах Ферганской долины. Пространственно-временное распределение сейсмичности в целом отражает структурные особенности земной коры и неоднородность поля напряжений в регионе, сформировавшегося под влиянием активных тектонических нарушений, в частности, Талассо-Ферганского и Карасуйского разломов.

Большинство землетрясений, согласно представленному на рис. 1б распределению, происходило на глубинах до 100 км. Самое сильное, из зарегистрированных в указанное время, Суусамырское землетрясение магнитудой 7.3, произошло 19.08.1992 г. в 94 км северо-восточнее Токтогульской ГЭС. Очаг землетрясения находился на

глубине 27 км, и как большинство других землетрясений в регионе, был приурочен к границе Мохоровичича. На самой станции оно сопровождалось 7-балльными колебаниями и интенсивным камнепадом с окрестных горных склонов. Основные сооружения гидроузла во время землетрясения не пострадали.

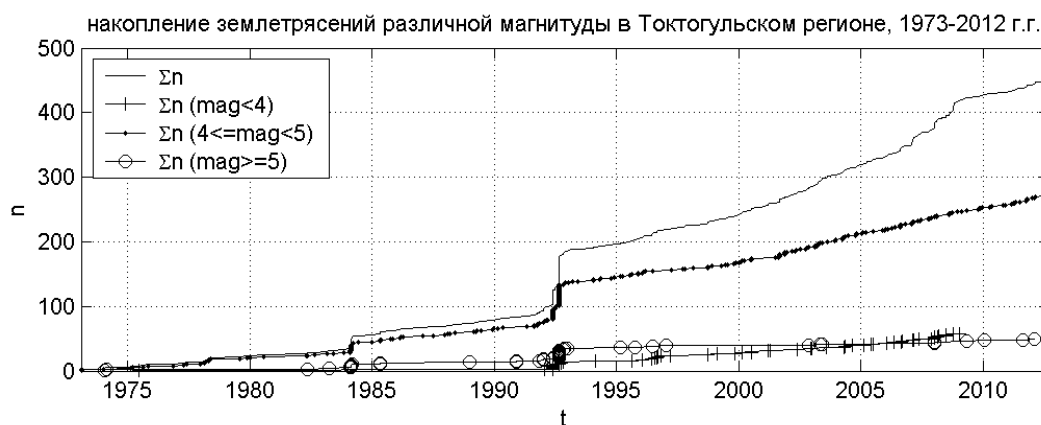


Рис. 2. Накопление землетрясений различной магнитуды в Токтогульском регионе.

Сейсмический режим Токтогульского региона представлен временным потоком сейсмических событий, зарегистрированных в период с 1973 по 2012 гг., которые изображены на рис. 1б в виде вертикального штриха высотой, пропорциональной магнитуде землетрясения, и кумулятивными зависимостями землетрясений различных магнитуд на рис. 2. Согласно последним, большинство землетрясений в регионе произошло во второй половине указанного периода, когда сейсмическая активность на юге Кыргызстана усилилась в связи с подготовкой и реализацией Суусамырского землетрясения 1992 года.

Временные флуктуации кумулятивных зависимостей наглядно демонстрируют региональные особенности сейсмического режима этого периода. Резкое увеличение их крутизны, пропорциональное скорости накопления числа землетрясений в регионе происходило трижды в 1978, 1984 и 1992 годах. Наиболее сильный скачок сейсмической активности

приурочен к Суусамырскому землетрясению 1992 года. В период подготовки, незадолго до этого землетрясения, наблюдалось увеличение числа и энергии относительно слабых и средней силы сейсмических событий. Высокая сейсмическая активность, обусловленная интенсивной разгрузкой очаговой области, сохранялась в регионе и после основного события в течение всего афтершокового периода, завершившегося дефицитом высокоэнергетических событий. Затем, спустя некоторое время, последовало очередное возрастание числа событий и увеличение их энергий.

Судя по кумулятивным зависимостям, после Суусамырского землетрясения фоновый уровень сейсмичности в регионе постепенно повышался вплоть до 2009 года за счет увеличения числа землетрясений магнитудой $M < 5$, что, вероятно, было связано с интенсивным перераспределением напряжений в регионе, вызванного этим землетрясением. Накопление же более сильных событий, менее чувствительных к кратковременным вариациям напряженно-деформированного состояния, происходило примерно с постоянной скоростью. Период активизации завершился серией землетрясений средней силы в 2008-2009 годах. Подобные изменения сейсмического режима наблюдались в это время не только в Токтогульском регионе, но и на остальной территории северного Тянь-Шаня. В целом особенности сейсмического режима, связанные с Суусамырским землетрясением, характерны для большинства сильных землетрясений в других регионах земли.

Обобщенной энергетической характеристикой сейсмического режима является распределение числа сейсмических событий по энергии или магнитуде. Ввиду чрезвычайно широкого энергетического диапазона сейсмических событий, составляющего несколько порядков, обычно рассматривается зависимость числа сейсмических событий от логарифма энергии (энергетического класса) или магнитуды:

$$N(M)=dn/M, \quad (1) \quad \text{где } M - \text{магнитуда.}$$

На рис. 3а показана гистограмма распределения по магнитуде землетрясений Токтогульского региона, зарегистрированных в 1973-2012 гг. Распределение представляет собой результат сортировки сейсмических событий по магнитуде с точностью 0.1. Оно имеет выраженный максимум для событий с магнитудой 4.4, число которых возрастает и убывает, соответственно, в области малых и больших значений магнитуд. Подобная форма распределения обусловлена, с одной стороны, пропуском энергетически слабых событий вследствие ограниченной чувствительности системы регистрации, с другой, естественным дефицитом сильных сейсмических событий. Последний обусловлен тем, что число сейсмических событий закономерно уменьшается с увеличением их энергии, так как трещины данного размера образуются путем слияния и последовательного укрупнения некоторого числа менее крупных дефектов.

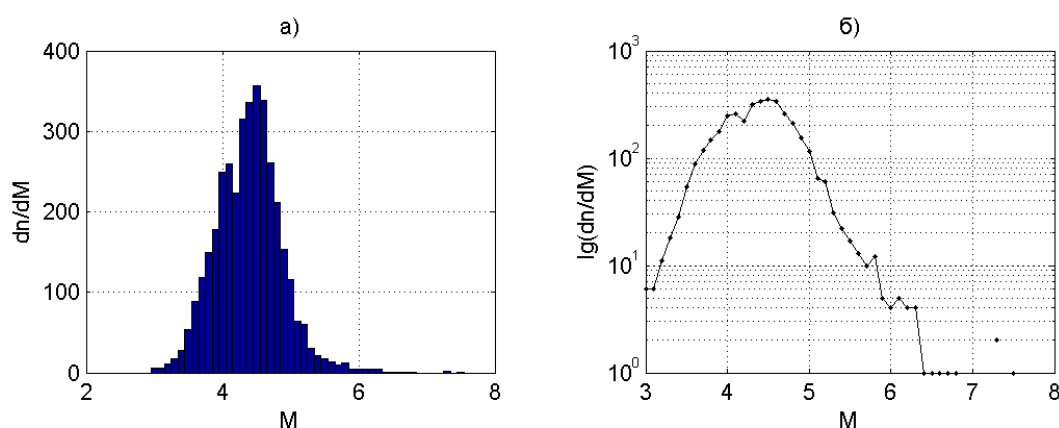


Рис. 3. а) распределение землетрясений Токтогульского региона по магнитуде, б) график повторяемости.

Аналогичное распределение числа землетрясений по энергии (магнитуде), построенное в двойных логарифмических координатах, или график повторяемости, является одной из важнейших статистических зависимостей в сейсмологии. Закон повторяемости землетрясений отражает вероятность возникновения землетрясений различной силы

(энергии). График повторяемости сейсмических событий Токтогульского региона приведен на рис. 3б.

Статистически представительная информация, соответствует линейному ниспадающему участку графика повторяемости, включая и нижний загиб. Для Токтогульского региона, согласно рис. 3б, статистически представительными являются землетрясения с $M > 4.5$.

$$\lg N = N_0 - \gamma M, \quad (2)$$

где N_0 – число событий нулевой магнитуды.

Угловой коэффициент γ , характеризующий наклон ниспадающей ветви графика повторяемости, отражает уменьшение частоты появления толчков различной магнитуды. Величина параметра γ зависит от свойств среды и закона деформирования (нагружения), при котором реализуется процесс разрушения [2]. Зависимость (2) имеет универсальный характер и справедлива в широком диапазоне энергий актов разрушения, включая процессы трещинообразования (акустическая эмиссия), горные удары (сейсмоакустика) и землетрясения.

Рядом авторов [1-5] отмечалось уменьшение наклона графика повторяемости перед макроразрушением образцов, горным ударом и сильным землетрясением, чему придавалось прогностическое значение. Выполаживание зависимости $N(W)$ перед образованием крупного разрыва указывает на то, что во время его подготовки интенсивное укрупнение разрывов происходит значительно чаще, чем при фоновом уровне сейсмического процесса, характерного для среднего, установившегося в данном регионе напряженно - деформированного состояния. Следовательно, выполаживание графика повторяемости перед образованием сравнительно крупного разрыва сплошности (подвижки) является характерным проявлением разрушения на различных масштабах от лабораторных образцов до горных ударов и землетрясений.

Согласно этим представлениям, крутизна графика повторяемости отражает степень сейсмоопасности данной территории и, следовательно, может служить её количественной характеристикой. Это неслучайно, если рассматривать сейсмичность как проявление некоторого результирующего свойства данной территории, сформировавшегося под влиянием множества факторов, таких как, структура и свойства горных пород, напряженно - деформированное состояние в регионе и т.д. Пологий график повторяемости соответствует повышенной сейсмоопасности территории, и напротив, более крутой, ее меньшей опасности в этом отношении.

Таким образом, крутизна графика повторяемости позволяет оценивать и сопоставлять сейсмоопасность различных регионов земной коры. Очевидно, это замечание относится и к различным периодам времени для одной и той же территории, если ее сейсмичность изменяются с течением времени. Так как угловой коэффициент графика повторяемости γ вычисляется для статистически представительных событий, то его величина является характеристикой сейсмичности инвариантной в аппаратурном отношении, которая может рассматриваться в качестве одного из ее потенциальных прогностических параметров.

С целью определения максимальной магнитуды и вероятности возникновения в Токтогульском регионе землетрясений различной силы в настоящей работе рассматривались характеристики обратного накопления сейсмических событий по магнитуде. Данная зависимость получается путем суммирования числа сейсмических событий по магнитуде, но не так, как это принято, например, при построении функции распределения случайной величины, начиная с малых значений, а в обратном порядке, начиная с наибольших значений энергий. Полученная таким образом зависимость напоминает известную функцию распределения, но построенную в обратном порядке.

Обратная функция распределения сейсмических событий по энергии уменьшается от 1 в области малых энергий, до 0 в области сравнительно высоких энергий. Ниспадающая область обратной зависимости накопления числа событий от магнитуды, достаточно точно аппроксимируется линейной зависимостью, аналогичной (2).

Приравняв нулю левую часть уравнения регрессии, аппроксимирующего зависимость обратного накопления статистически представительных сейсмических событий, достаточно просто вычислить максимальную магнитуду землетрясений,

$$M^* = N_0 / \gamma. \quad (4)$$

Для Токтогульского региона, согласно данным, приведенным на рис. 4а, она составляет ~ 7.4 .

Для прогнозирования максимальной магнитуды ожидаемого сейсмического события следует вычислять M^* для текущей реализации процесса в темпе поступления инструментальной информации. Данный параметр имеет предельно ясный физический смысл и может наряду с величиной γ рассматриваться в качестве еще одного прогностического параметра сейсмичности.

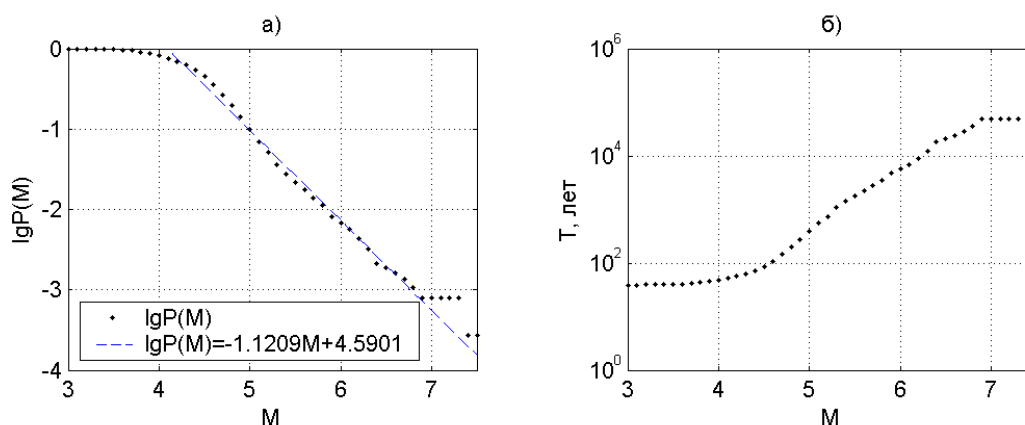


Рис. 4. а) вероятность возникновения и б) период повторяемости землетрясений различной магнитуды в Токтогульском регионе.

Для вычисления вероятности $P(M)$ возникновения землетрясений различной магнитуды достаточно отнести их количество, накопленное за

определенное время, к общему числу событий за тот же период времени. Зависимость вероятности возникновения землетрясений различной магнитуды и соответствующее уравнение регрессии, позволяющее рассчитать вероятность возникновения землетрясения данной магнитуды в регионе, приведены на рис. 4а. Период повторяемости землетрясений различной магнитуды в радиусе 500 км от Токтогульской ГЭС, рис. 4б.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мого К. Предсказание землетрясений: Пер. с англ.- М., Мир, 1988, 382 с.
2. Виноградов С.Д. Акустический метод в исследованиях по физике землетрясений.- М., Наука, 1989, 177 с.
3. Манжиков Б.Ц., Мансуров В.А., Ружич В.В. Проявление нестационарности процесса разрушения горных пород в графиках повторяемости.// Всесоюзная школа-семинар «Физические основы прогнозирования разрушения горных пород».- Иркутск. 1988. с.79-81.
4. Мамадалиев Ю.А. Об исследовании параметров сейсмического режима во времени и в пространстве.// Вопросы региональной сейсмичности Средней Азии. Фрунзе. Илим. 1964.
5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения.- М.: Наука. 1988. 480 с.

ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОГЕННОГО ФАКТОРА НА ОПОЛЗНЕОПАСНОМ ГОРНОМ СКЛОНЕ

Ю. Г. Алешин

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Как показывает практика оползневых исследований решающее влияние на активность гидрогенных оползней оказывают подземные воды (ПВ) в период их подъема с марта по июнь для региона юго-западного Тянь-Шаня. Коэффициент корреляции между уровнем ПВ и скоростью смещения оползня (u) достигает значения от 0,5 до 0,6. При этом необходимо иметь в виду то обстоятельство, что пьезометрические скважины на оползневом участке весьма немногочисленны и пройдены зачастую не в активной части оползня, т.е. оценка УПВ в оползневом теле является косвенной. В тех случаях, когда удастся провести измерения этого уровня непосредственно в пределах оползневого тела [1], можно получить достаточно тесную нелинейную связь u (H) с коэффициентом детерминации $R^2 > 0.9$.

Для каждого конкретного оползня влияние ПВ на оползневую активность своеобразное, специфическое и проявляется с различной степени определенности. В одних случаях оно комплексное: повышается поровое и фильтрационное давление, изменяются физико-механические характеристики грунтов в плоскости скольжения. Этот комплекс факторов нарушает устойчивость горного склона и определяет скорость смещения оползневых масс вплоть до катастрофического обрушения. В других случаях это влияние сказывается лишь в части незначительного изменения физико-механических свойств, активируя сезонное смещение

оползней. В зависимости от состояния нарушенности грунтов неустойчивой части горного склона или отдельных его участков, которое к тому же изменяется в процессе оползневого движения и особенностей гидро-геологического режима в ближней и дальней зонах питания ПВ, их влияния на оползневую активность даже в пределах одного и того же склона нестационарно и в точности неповторимо из года в год. Тем не менее, повышение уровня ПВ на конкретном оползневом склоне либо включает в действие большое число гидрогенных факторов оползневой активности, либо увеличивает интенсивность влияния одного или каждого из них, либо захватывает влиянием все большее число локальных участков и объёмов потенциальной и действующей оползневой массы. В любом случае прогноз уровня ПВ на предстоящий весенний период позволит вынести суждение об ожидаемой оползневой активности.

Организации МЧС обычно разрабатывают прогнозы возможных катастрофических событий на предстоящий год на основе гидрометеорологических прогнозов. Это в первую очередь относится к оползневым явлениям в неустойчивых грунтах. Однако до сих пор такой прогноз основывается на интуитивных, эвристических соображениях и обобщении опыта практических наблюдений. Комбинируя математические методы имитационного и нейросетевого моделирования, нами была создана и исследована прогнозирующая модель, позволяющая провести детальное описание динамики ожидаемого подъёма уровня ПВ на оползневом участке на период первого полугодия предстоящего года. Основная идея технологии такого моделирования заключается в использовании качественных и количественных гидрометеорологических прогнозов для территории актуального субрегиона на предстоящий зимне-весенний период, гидрогеологических свойств грунтов оползнеопасного склона и геометрически-пространственных соотношений оползневой площадки и

зоны атмосферного питания ПВ, а при получении реальных гидрометеорологических данных в зимний период – в комплексном использовании реальных и прогнозных данных на предстоящий период.

Предикторами прогнозной процедуры являются зимнее (Q_3) с 1.12. по 28.02. и весеннее (Q_6) с 1.03. по 31.05., количество атмосферных осадков с указанием среднемесячного значения; зимняя (T_3°) и весенняя (T_6°) температура воздуха с указанием среднемесячного значения; интенсивность осадков (h_3, h_4, h_5) среднемесячная в марте, апреле и мае; время (горизонт) прогноза (t_n), отсчитываемое с начала декабря года, предшествующего прогнозному. Факторами прогнозной процедуры являются: пьезоуровнепроводимости (α) грунтов оползнеопасного склона; протяженность (ΔL) по склону зоны атмосферного питания ПВ, расстояние (L) от центра этой зоны до оползневой площадки. Технология моделирования включает: дискретизацию и классификацию предикторов в виде двух гидрометеорологических матриц (зимняя и весенняя) $QT_{\text{ЗМН}}^\circ$ и $QT_{\text{ВСН}}^\circ$ размера 7×7 , содержащих по 49 элементов (классов или типов гидрометеорологической обстановки); нормализацию и кодификацию элементов матриц $(X_1, X_2)_{\text{ЗМН}}$, $(X_3, X_4)_{\text{ВСН}}$, интенсивности осадков весенних месяцев в рамках семи классов и рандомизация временных интервалов (X_5, X_6, X_7), а так же момента времени, на который формируется прогноз (X_8).

Формирование общей гидрогеологической модели как случайной комбинации всех рассматриваемых предикторов $\{X_i\}$, $i \in (1, 8)$ по правилам методики планирования эксперимента. Нами использован ротатабельный план второго порядка Бокса-Хантера в виде полуреплики 2^{K-1} , где $K=8$, при этом динамика изменения уровня ПВ во времени t , соответствующая каждой комбинации предикторов, определялась по формуле

$$\Delta H = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \frac{1}{m} (E_{sk} - E_{s(k-1)}) \cdot (t - t_{sk}) Y_{sk} (1)$$

где: индекс k показывает порядковый номер в череде периодов выпадения атмосферных осадков, начиная с момента времени снеготаяния; S – порядковый номер участка в пределах водосборной (для оползня) площади, на котором осуществляется снеготаяние или выпадение жидких осадков; E_{sk} – интенсивность эффективной инфильтрации осадков как разности между выпадающими жидкими или стаивающими твердыми осадками h_{sk} и испарением $\varepsilon_{исп.sk}$ с земной поверхности; Y_{sk} – сложная функция, объединяющая пространственно-геометрические (L, L_{sk}), временные (t, t_{sk}) и гидродинамические (α) характеристики горного массива [2] и выраженная через кратные интегралы вероятности $i^2 \operatorname{erfc}(\cdot)$:

$$Y_{sk} = 2 \left[i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{L - L_{s2}}{2\sqrt{\alpha(t - t_{sk})}} \right) + i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{L + L_{s2}}{2\sqrt{\alpha(t - t_{sk})}} \right) - i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{L - L_{s1}}{2\sqrt{\alpha(t - t_{sk})}} \right) - i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{L + L_{s1}}{2\sqrt{\alpha(t - t_{sk})}} \right) \right]$$

Пример реализации комплекса входных воздействий (предикторов) факторного эксперимента из 164 приведен на рис.1.

Данные имитационного моделирования позволили сформировать базу данных $\{x_{ij}, \Delta H_j\}$, $i = 1, 2, \dots, 8$; $j = 1, 2, \dots, 164$ для разработки нейросетевой прогнозирующей модели $\widehat{\Delta H} = f(X_1, X_2, \dots, X_8)$. Из 2000 нейросетей с архитектурой многослойного персептрона (MLP) была выбрана по результатам обучения наилучшая с высокими показателями производительности (коэффициента корреляции между ΔH и комплекса $\{X_i\}$, $i = 1, 2, \dots, 8$ по контрольной и тестовой подвыборкам. Некоторые важные характеристики этой нейросети приведены на комплексном рис.2. Анализ чувствительности прогноза к входным данным показывает четыре группы влияющих факторов: наибольшей чувствительностью сеть обладает по отношению к переменной X_8 –

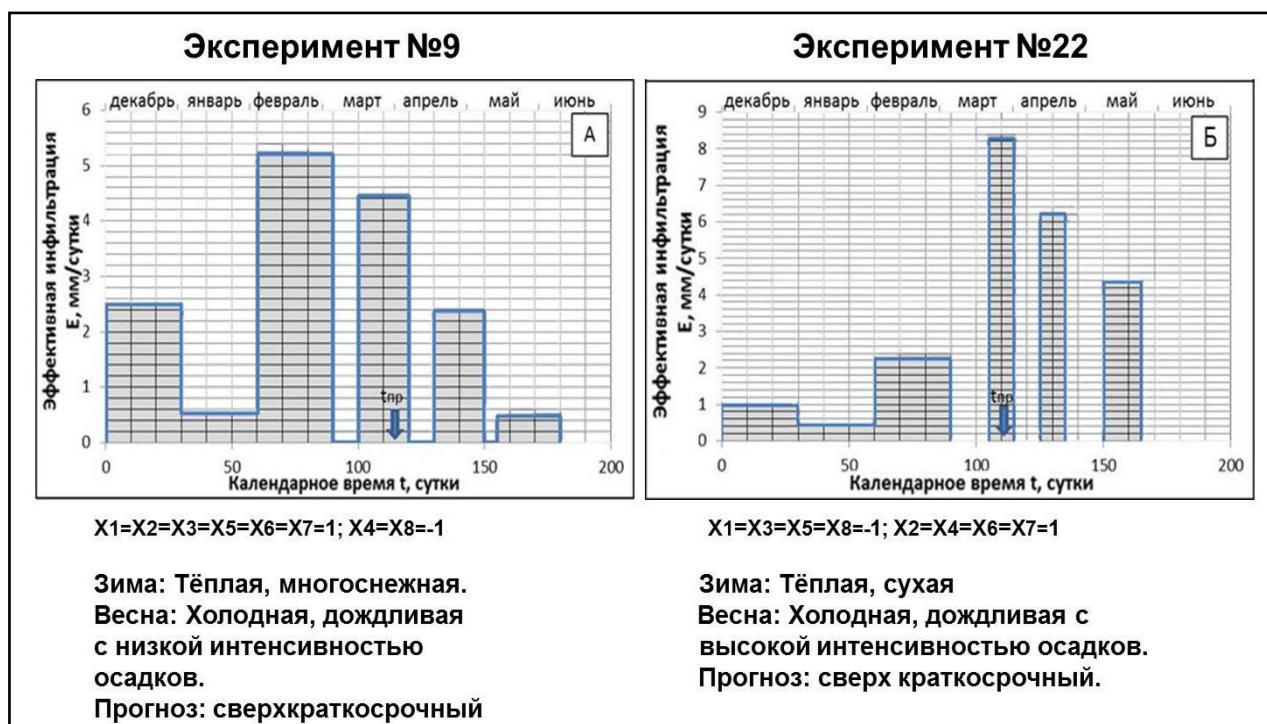


Рис.1. Примеры реализации сквозных воздействий в факторном эксперименте Бокса-Хантера

моменту времени (горизонту) прогноза; вторым по значимости является фактор зимних осадков X_1 ; третьим – два фактора X_2 (температура зимнего периода) и X_3 (количество весенних осадков) с приблизительно одинаковым влиянием; четвертая группа факторов X_4 (температура весеннего периода) и интенсивность осадков X_5, X_6, X_7 в любой весенний месяц оказывают наименьшее влияние на величину ΔH . Большое влияние временного фактора X_8 вполне объяснимо: при любом количестве осадков кривая роста уровня ПВ в разные годы мало изменяется (минимум в декабре – январе, максимум в апреле – июне). Зимние осадки (фактор X_1) большей частью инфильтруются в массив грунтов, пополняя запасы ПВ; этим объясняется большое влияние этого фактора на величину ΔH . По мере возрастания температура воздуха весной уменьшается эффективность инфильтрации выпавших осадков, возрастают показатели испарения с поверхности грунта, десукция и транспирация влаги растениями, что и

определяет наименьшее воздействие четвертой группы факторов на динамику уровня ПВ.

Нейросетевой автомат позволяет синтезировать кривую гидрогеологического бугра $H(t)$ на оползнеопасном участке горного склона при любой комбинации влияющих факторов $\{X_i\} i = 1, 2, \dots 8$.

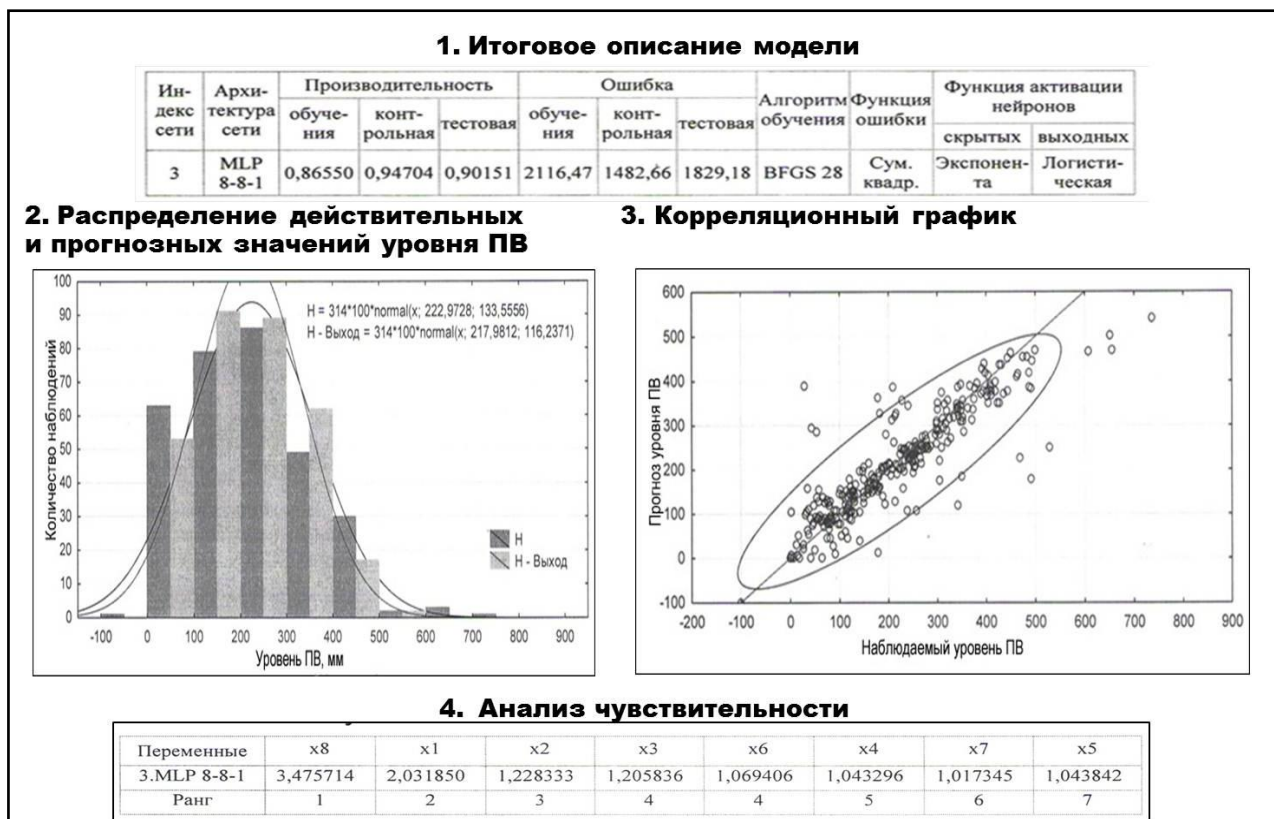


Рис.2. Основные показатели качества нейросетевой модели

На рис.3 приведены эти зависимости для ряда комбинации влияющих факторов, уровни которых были выбраны специально из ряда экспериментальных значений с тем, чтобы более явно продемонстрировать различие в амплитуде и форме гидрогеологического бугра, синтезируемого нейросетевым автоматом. Аналитическая аппроксимация кривых возможна одной функцией, показанной на рис. 3, при различных значениях параметров a, b, c, d, g, k . Существенные различия в скорости подъёма уровня ГВ, их амплитуде и моменте наступления максимума определяют время возможного

опасного проявления оползневой активности на анализируемом участке оползнеопасного склона.

Описанная выше технология комплексного моделирования нестационарной гидродинамической задачи о формировании уровня ПВ под влиянием группы факторов, в том числе гидрометеорологических, выраженных в качественной форме, позволяет синтезировать прогнозирующий нейросетевой автомат. При наличии данных о показателях пьезоуровнепроводимости грунтов на водосборной (для оползневой участка) площади, геометрических соотношений положения оползнеопасного участка относительно зоны атмосферного питания ПВ

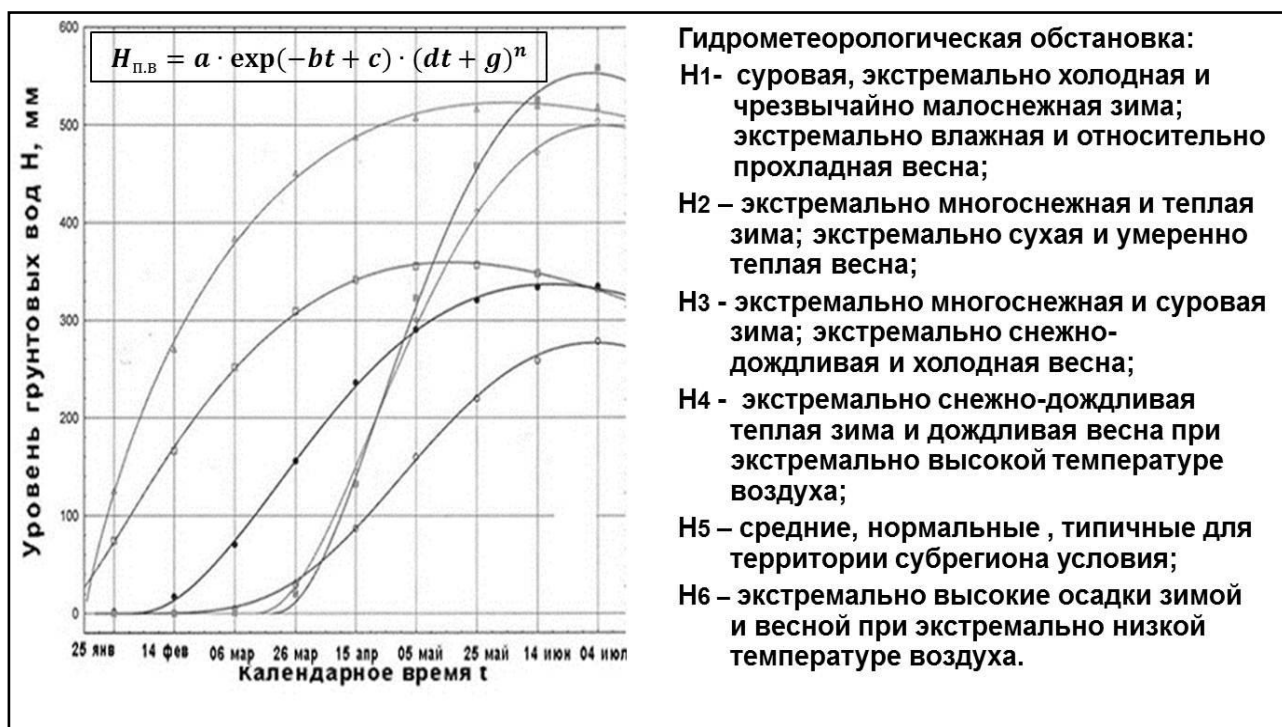


Рис.3. Комбинации предикторов тестового подмножества и отклик нейросетевого автомата, характеризующий динамику УПВ на оползнеопасном участке горного склона

и гидрометеорологической обстановки можно получить в аналитической форме закономерности формирования гидрогеологического режима на оползневых участках. Появляется возможность выявить наиболее опасные для формирования оползней комбинации числовых значений

или даже качественных градации гидрометеорологических факторов предстоящего зимне-весеннего периода, вызывающих или резкий подъем уровня ПВ, его высокую амплитуду или длительность высокого стояния ПВ. При этом ранжируется роль отдельных факторов, определяющих показатели динамики уровня ПВ и, следовательно, требования к качеству их прогноза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Corominas J., Moya J. et al. Prediction of ground displacements and velocities from ground water level changes at the Vallcebre landslide //Landslides. 2005. № 2.pp 83-86
2. Полубаринова–Кочина П.Я., Пряжинская В.Г., Эмих В.Н.
Математические методы в вопросах орошения. М.: Наука, 1969.
414с

ОТОБРАЖЕНИЯ СО ВТОРОЙ АКСИОМОЙ СЧЕТНОСТИ

Ишмахамаметов К.

КРСУ им. Ельцина

Все рассматриваемые пространства предполагаются топологическими, отображения непрерывными. В данной работе на отображения распространяются некоторые понятия и утверждения касающихся пространств.

Определение 1 [1]. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система N подмножеств пространства X называется сетью (соответственно π -сетью) отображения f , если для любой точки $x \in X$ и любой ее окрестности O_x найдется такое открытое в Y множество U и такое множество $V \in N$, что $x \in V \cap f^{-1}U \subseteq O_x$ (соответственно, $V \cap f^{-1}U \subseteq O_x$).
Сеть (π -сеть) отображения f , состоящая из открытых в X множеств, называется базой (π -базой) отображения f .

Теорема 1. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система N подмножеств пространства X является сетью (соответственно, π -сетью), если и только, если для любого открытого в X множества O существуют подсистема $\{N_\alpha: \alpha \in A\} \subseteq N$ и открытые в Y множества $\{U_\alpha: \alpha \in A\}$ такие, что

$$\bigcup_{\alpha \in A} (N_\alpha \cap f^{-1}U_\alpha) = O \text{ (соответственно, } \bigcup_{\alpha \in A} (N_\alpha \cap f^{-1}U_\alpha) \subseteq O \text{)}.$$

Доказательство. Необходимость. Пусть O - произвольное открытое в X множество и $x \in O$. Существуют открытое в Y множество U_x и такое множество $N_x \in N$, что $x \in N_x \cap f^{-1}U_x \subseteq O$ (соответственно, $N_x \cap f^{-1}U_x \subseteq O$).

Тогда ясно, что $\bigcup_{x \in O} (N_x \cap f^{-1}U_x) = O$ (соответственно, $\bigcup_{x \in O} (N_x \cap f^{-1}U_x) \subseteq O$) и $\{N_x : x \in O\} \subseteq N$, $\{U_x : x \in O\}$ искомые системы.

Достаточность. Пусть O - произвольная окрестность точки $x \in O$. По допущению существуют подсистема $\{N_\alpha : \alpha \in A\} \subseteq N$ и открытые в Y множества $\{U_\alpha : \alpha \in A\}$ такие, что $\bigcup_{\alpha \in A} (N_\alpha \cap f^{-1}U_\alpha) = O$ (соответственно, $\bigcup_{\alpha \in A} (N_\alpha \cap f^{-1}U_\alpha) \subseteq O$). Тогда, $x \in N_{\alpha_0} \cap f^{-1}O_{\alpha_0} \subseteq O$ для некоторого $\alpha_0 \in A$ (соответственно, $N_\alpha \cap f^{-1}U_\alpha \subseteq O$ даже для любого $\alpha \in A$). Теорема доказана.

Замечание 1. В случае, когда система N состоит из открытых множеств другой топологии, то N называется квазибазой (квази π -базой) отображения f . Другими словами, если $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$ и $N = \tau_f \neq \tau$, то $N = \tau_f$ называется квазибазой (квази π -базой) отображения f .

Следствие 1. Утверждение теоремы 1 остается верным и тогда, когда N есть база (π -база), квазибаза (квази π -база) отображения f .

Определение 2. Отображение $f : X \rightarrow Y$ называется отображением со счетной сетью (соответственно, π -сетью), если оно обладает счетной сетью (соответственно, π -сетью) N .

Если система N состоит из открытых в X множеств, то f называется отображением со второй аксиомой счетности (соответственно, со второй π -аксиомой счетности). Если же $N = \tau_f$ другая топология, то f называется отображением со счетной квазибазой (соответственно, квази π -базой).

Теорема 2. Если $f : X \rightarrow Y$ отображение со счетной сетью, то А) из любого открытого в X покрытия ω слоя, $f^{-1}y$ каждой точки $y \in Y$ можно выделить не более чем счетное подпокрытие ω' .

Доказательство. Пусть N - некоторая счетная сеть отображения f , $y \in Y$ и $\omega = \{O_\alpha : \alpha \in A\}$ - произвольное открытое в X покрытие слоя $f^{-1}y$.

Для каждого $x \in f^{-1}y$ обозначим через $O_{\alpha(x)}$ один из элементов покрытия ω содержащих точку x . Существуют множество $N_{n(x)} \in N$ и открытое в Y множество $G_{n(x)}$ такие, что $x \in N_{n(x)} \cap f^{-1}G_{n(x)} \subseteq O_{\alpha(x)}$, ясно, что $\bigcup_{x \in f^{-1}y} (N_{n(x)} \cap f^{-1}G_{n(x)}) \supseteq f^{-1}y$. Теперь, обозначив через O_n одно из содержащих $N_{n(x)} \cap f^{-1}G_{n(x)}$ множеств $O_{\alpha(x)}$ получим не более чем счетное подпокрытие $\omega' = \{O_n\}$ покрытия ω . Теорема доказана.

Следствие 2. Для отображения со второй аксиомой счетности, утверждение теоремы 2 остается справедливым.

Определение 3. Отображение f со свойством А) назовем финально компактным.

Класс финально компактных отображений шире, чем класс отображений со счетной сетью (со второй аксиомой счетности).

Как обычно, для системы $\omega = \{O_\alpha : \alpha \in A\}$ подмножеств пространства X считается $\bigcup \omega = \bigcup \{O_\alpha : \alpha \in A\}$.

Определение 4. Говорят, что отображение $f: X \rightarrow Y$ обладает (обобщенным) свойством Линделёфа, если всякая система ω (произвольных) открытых в X подмножеств покрывающих слой $f^{-1}y$, $y \in Y$ обладает не более чем счетной подсистемой ω' также покрывающей $f^{-1}y$, $y \in Y$ с тем же объединением что и система ω , т.е. $\bigcup \omega = \bigcup \omega'$.

Теорема 3. Отображение со второй аксиомой счетности (со второй π -аксиомой счетности) обладает свойством Линделёфа.

Доказательство. Пусть $\omega = \{O\}$ - произвольная система открытых в X подмножеств O , покрывающая слой $f^{-1}y$ произвольной точки $y \in Y$ и $\tau_f = \{U_n\}$ - некоторая счетная база отображения f . Элемент $U \in \tau_f$ назовем отмеченным элементом базы τ_f , если существует такое открытое в Y множество G , что $U \cap f^{-1}G \subseteq O$ для некоторого $O \in \omega$.

Каждому отмеченному элементу $U_{n_k} \in \omega$ поставим в соответствие элемент $O_k \in \omega$, который содержит $U_{n_k} \cap f^{-1}G_k$. Пусть $\omega' = \{O_k\} \subset \omega$, $\bigcup \{O_k\} = M$, $\bigcup \{O_k\} = M'$ и $\bigcup \{U_{n_k} \cap f^{-1}G_k\} = N$, где U_{n_k} отмеченный элемент базы τ_f . Заметим, что $M = N$. Действительно, поскольку, очевидно, что $N \subseteq M$, то остается показать, что $M \subseteq N$. Пусть $x_0 \in M$. Поскольку τ_f база, то существует ее отмеченный элемент U_{n_0} такой, что $x_0 \in U_{n_0} \cap f^{-1}G_0 \subseteq O_{i_0}$, т.е. $M \subseteq N$. Поэтому $M = N$. С другой стороны, ясно, что $M = N = \bigcup \{U_{n_k} \cap f^{-1}G_k\} \subseteq \bigcup \{O_k\} = M'$, а так как $M' \subseteq M$, то $M' = M$. Теорема доказана.

Следствие 3. Всякое отображение со второй аксиомой счетности финально компактно.

Замечание 2. В определении 4 вместо слоя $f^{-1}y$ можно взять любое подмножество $X' \subseteq X$ и тогда теорема 3 остается справедливой.

Определение 5 [1]. Отображение $f: X \rightarrow Y$ называется регулярным, если для любой точки $x \in X$ и любого замкнутого в X множества F не содержащего точку x существует такая окрестность G точки fx в Y , что точка x и множество $F \cap f^{-1}G$ отделимы окрестностями в $f^{-1}G$.

Теорема 4. Отображение $f: X \rightarrow Y$ регулярно тогда и только тогда, когда для любой точки $x \in X$ и любой ее окрестности $U \subset X$ существуют такие окрестность G точки fx в Y и открытое в $f^{-1}G$ множество V , что $x \in V \subseteq [V]_{f^{-1}G} \subseteq U \cap f^{-1}G \subset U$.

Доказательство. Необходимость. Пусть $f: X \rightarrow Y$ регулярно, $x \in X$ и U любая ее окрестность. Положим $F = X \setminus U$, тогда F замкнуто в X и $x \notin F$. Из регулярности отображения f следует существование окрестности $G \subseteq Y$ точки fx , открытых множеств $V, W \subseteq f^{-1}G$, таких что $x \in V$, $F \cap f^{-1}G \subseteq W$ и $V \cap W = \emptyset$. Ясно, что $V \subset f^{-1}G \setminus W$ и $f^{-1}G \setminus W$ замкнуто в $f^{-1}G$. Имеем $x \in V \subseteq [V]_{f^{-1}G} \subset [f^{-1}G \setminus W]_{f^{-1}G} = f^{-1}G \setminus W$. Поскольку $F \cap f^{-1}G \subseteq W$, то

$f^{-1}G \setminus W \subseteq f^{-1}G \setminus (F \cap f^{-1}G) = f^{-1}G \setminus F = f^{-1}G \setminus (X \setminus U) = (f^{-1}G \setminus X) \cup (f^{-1}G \cap U) = f^{-1}G \cap U \subset U$.
Достаточность. Пусть $x \in X, F$ замкнуто в X и $x \notin F$. Множество $X \setminus F = V$ открыто в X и $x \in U$. Существуют такие окрестность G точки f_x в Y и открытое множество $V \subset f^{-1}G$, что $x \in V \subseteq [V]_{f^{-1}G} \subset U \cap f^{-1}G \subset U$. Множество $W = f^{-1}G \setminus [V]_{f^{-1}G}$ открыто в $f^{-1}G$ и $W = f^{-1}G \setminus [V]_{f^{-1}G} \supset f^{-1}G \setminus U \supset f^{-1}G \cap (X \setminus U) = f^{-1}G \cap F$. Очевидно, что $V \cap W = \emptyset$.

Теорема доказана.

Отметим, что из теоремы 4, в случае когда $Y = \{p\}$ одноточечное пространство, следует критерий регулярности пространств.

Определение 6 [1]. Непрерывное отображение $f: X \rightarrow Y$ называется нормальным, если для любой точки $y \in Y$ любые два дизъюнктные, замкнутые в слое $f^{-1}y$ множества отделимы в X окрестностями.

Теорема 5. Регулярное финально компактное отображение $f: X \rightarrow Y$ нормально.

Доказательство. В силу регулярности отображения f слой $f^{-1}y$ является регулярным для любой точки $y \in Y$.

Действительно, пусть $x \in f^{-1}y$, F замкнуто в $f^{-1}y$ и $x \notin F$. Существует замкнутое в X множество $\tilde{F}$ такое, что $\tilde{F} \cap f^{-1}y = F$ и $x \notin \tilde{F}$. Отображение f регулярно, поэтому существует окрестность O точки f_x и в трубке $f^{-1}O$ множества $\{x\}$ и $\tilde{F}$ отделимы окрестностями, т.е. существуют такие открытые в $f^{-1}O$ множества $\tilde{U}_1, \tilde{U}_2$, что $x \in \tilde{U}_1, \tilde{F} \cap f^{-1}O \subset \tilde{U}_2$ и $\tilde{U}_1 \cap \tilde{U}_2 = \emptyset$. Множества $U_1 = \tilde{U}_1 \cap f^{-1}y, U_2 = \tilde{U}_2 \cap f^{-1}y$ открыты в $f^{-1}y, x \in U_1, F \subseteq U_2$ и $U_1 \cap U_2 = \emptyset$. Регулярность слоя $f^{-1}y$ доказана.

Пусть теперь множества F_1, F_2 замкнуты в $f^{-1}y$ и $F_1 \cap F_2 = \emptyset$. Покажем, что F_1, F_2 отделимы в X окрестностями. Пусть $x \in F_1$. Множество $U_x = f^{-1}y \setminus F_2$ является окрестностью точки x в $f^{-1}y$. Существует открытое в X множество $\tilde{U}_x$ такое, что $\tilde{U}_x \cap f^{-1}y = U_x$ и $x \in \tilde{U}_x$. В силу регулярности f

существуют такие окрестности G_x точки f_x в Y и открытое в $f^{-1}G_x$ (и в X) множество V_x , что $x \in V_x \subset [V_x]_{f^{-1}G_x} \subset \tilde{U}_x \cap f^{-1}G_x \subset \tilde{U}_x$. Множество $[V_x]_{f^{-1}G_x}$ не пересекает F_2 , т.е. $[V_x]_{f^{-1}G_x} \cap F_2 = \emptyset$. Множество $[V_x]_X$ в трубке $f^{-1}G_x$ высекает множество $[V_x]_{f^{-1}G_x}$ и $[V_x]_X \cap F_2 = \emptyset$. Таким образом, множество V_x открыто в X и $[V_x]_X \cap F_2 = \emptyset$. Система $\{V_x : x \in F_1\}$ есть открытое в X покрытие множества F_1 . Положим, $V' = f^{-1}y \setminus F_1$. Тогда множество V' открыто в $f^{-1}y$. Существует такое открытое в X множество V , что $V \cap f^{-1}y = V'$. Система открытых в X множеств $\omega = \{V_x : x \in F_1\} \cup \{V\}$ является покрытием слоя $f^{-1}y$. В силу финальной компактности отображения f из покрытия ω можно выделить не более чем счетное подпокрытие $\omega' = \{V, V_1, V_2, \dots, V_n, \dots\}$ покрывающее слой $f^{-1}y$. Система $\omega' \setminus \{V\} = \{V_1, V_2, \dots, V_n, \dots\}$ есть не более чем счетное покрытие множества F_1 , т.е. $\bigcup_{i=1}^{\infty} V_i \supseteq F_1$, причем $[V_i]_X \cap F_2 = \emptyset$ для любого i .

Аналогичным образом построим не более чем счетное покрытие $\{W_1, W_2, \dots, W_n, \dots\}$ множества F_2 со свойством $\bigcup_{j=1}^{\infty} W_j \supseteq F_2$ и $[W_j]_X \cap F_1 = \emptyset$ для любого j .

Теперь по нормализующей лемме [2] стр.56, множества F_1 и F_2 имеют дизъюнктные в X окрестности. Нормальность отображения f доказана.

Следствие 4. Регулярное финально компактное отображение послойно нормально, т.е. для любого $y \in Y$ слой $f^{-1}y$ нормален.

Из теоремы 5, в силу следствия 3 теоремы 3 получаем:

Теорема 6. Регулярное отображение со второй аксиомой счетности нормально.

Отметим, что в случае, когда Y одноточечное пространство из теорем 1-6 следуют соответствующие утверждения для пространств. В частности, из теоремы 2 следует теорема Линделёфа [2], из теоремы 5

следует теорема Веденисова [2], а из теоремы 6 следует теорема Тихонова [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.А. Пасынков. О распространении на отображения некоторых понятий и утверждений, касающихся пространств. Отображения и функторы. Сборник. Москва, Изд-во МГУ, 1984.
2. П.С. Александров, Б.А. Пасынков. Введение в теорию размерности. Изд. «Наука», Москва, 1973.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ В ТВЕРДОМ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОМ ОБРАЗЦЕ

Казакбаева Г.О., Аманалиев А.А.

ИГиОН НАН КР

Известно, что в результате деятельности человека, например, как при нарушении массива пород горной выработкой, так и естественным путем – при воздымании масс горных пород, при смене знака тектонических движений, когда условия сжатия сменяются условиями растяжения и т.д. происходит разгрузка при перераспределении напряжений. Особенностью реакции горных пород на разгрузку является самопроизвольное образование трещин вблизи поверхности, на которой эта разгрузка осуществилась. Определяющую роль в образовании этих трещин, играет перераспределение (релаксация) напряжений. Процессы перераспределения напряжений сложны даже в простейших системах. Обычно считают, что релаксация напряжений в большом массиве пород в общих чертах протекает так же, как и в небольшом образце [1].

В связи с этим в настоящей работе характер перераспределения (релаксация) напряжений во времени оценивался при исследовании поведения нагруженного твердого образца в лабораторных условиях. Измерения разности главных нормальных напряжений в образце производились поляризационно-оптическим методом. А для их разделения использован метод разности касательных напряжений [2]. Объектом исследований является оптически активный твердый образец призматической формы размерами: 10х5х2см, изготовленный на основе

эпоксидной смолы. На первом этапе исследований в этом образце методом термообработки были созданы поля остаточных напряжений. Затем определены величины остаточных напряжений по основным направлениям образца и построены эпюры. На втором этапе образцу с остаточными полями напряжений задана небольшая деформация при помощи вертикальной нагрузки, которая при дальнейшем исследовании остается постоянной. Результаты исследований характера перераспределения суммарных напряжений во времени в указанном образце (за 6 месяцев с момента испытаний) приведены в работе [3]. В этой работе отмечается, что по вертикальному направлению образца с течением времени при перераспределении напряжений наблюдается рост суммарных растягивающих и сжимающих напряжений, а по горизонтальному направлению – их снижение. Характер перераспределения напряжений по вертикальному сечению образца имеет неоднородный вид.

В дальнейшем исследование характера перераспределения напряжений во времени в указанном выше образце продолжены и в настоящей работе приведены полученные результаты уже за 1,5 года для нескольких характерных точек образца.

В таблицах 1-4 приводятся величины напряжений, измеренные в образце за 1,5 года для точек (№1, №7, №12, №23) по вертикальному сечению образца. В столбике даты измерений при нуле приводятся величины только остаточных (начальных) напряжений в образце без внешних нагрузок.

Таблица 1. Точка № 1.

Дата измерений	Величины напряжений, МПа		
	σ_1	σ_2	$T_{\max}$
0	4,1	-1,2	2,7
4.VII-2012	11,3	-0,97	6,1
11.VII-2012	13,7	-0,5	6,6

Таблица 2. Точка № 7.

Дата измерений	Величины напряжений, МПа		
	σ_1	σ_2	$T_{\max}$
0	1,6	-8,9	5,2
4.VII-2012	12,6	-1,6	7,1

18.VII-2012	13,3	-0,9	7,1
25.VII-2012	14,4	-0,9	7,7
6.XI-2012	14,9	-0,4	7,7
11.IV-2013	13,6	-0,6	7,1
16.V.-2013	12,2	-0,5	6,4
18.VI-2013	13,4	-0,8	7,1
18.VII-2013	13,4	-0,8	7,1
18. IX-2013	14,7	-0,5	7,6

Таблица 3. Точка № 12.

11.VII-2012	12,2	-2,0	7,1
18.VII-2012	13,9	-1,3	7,6
25.VII-2012	12,6	-1,6	7,1
6.XI-2012	15,0	-1,3	8,1
11.IV-2013	11,2	-3,0	7,1
16.V.-2013	12,9	-2,4	7,6
18.VI-2013	13,5	-2,7	8,1
18. VII-2013	12,7	-2,6	7,6
18. IX-2013	10,7	-2,5	6,6

Таблица 4. Точка № 23.

Дата измерений	Величины напряжений, МПа		
	σ_1	σ_2	$T_{\max}$
0	-2,5	-15,7	6,6
4.VII-2012	9,1	-4,2	6,6
11.VII-2012	8,3	-4,4	6,4
18.VII-2012	8,4	-3,8	6,1
25.VII-2012	7,4	-5,8	6,6
6.XI-2012	8,7	-5,5	7,1
11.IV-2013	9,2	-7,1	8,1
16.V.-2013	6,4	-6,8	6,6
18.VI-2013	10,9	-4,4	7,6
18. VII-2013	8,9	-6,3	7,6
18. IX-2013	9,5	-5,7	7,6

Дата измерений	Величины напряжений, МПа		
	σ_1	σ_2	$T_{\max}$
0	-5,6	-18,8	6,6
4.VII-2012	-5,4	-20,6	7,6
11.VII-2012	-0,1	-19,1	9,5
18.VII-2012	0,4	-19,3	9,8
25.VII-2012	-6,4	-24,4	8,97
6.XI-2012	-7,8	-25,2	8,7
11.IV-2013	-7,8	-25,8	8,96
16.V.-2013	-11,1	-25,3	7,1
18.VI-2013	-4,5	-19,8	7,6
18. VII-2013	-4,3	-22,9	9,3
18. IX-2013	-11,6	-22,9	5,7

Из таблиц 1-4 следует что, за время испытаний образца (за 1,5 года) в указанных точках по вертикальному сечению происходили как повышения, так и снижения величин суммарных напряжений. Например, в точке №1 растягивающие суммарные напряжения σ_1 с течением времени по сравнению с величинами остаточных напряжений имеют прирост в 3,6 раза. А сжимающие суммарные напряжения σ_2 , наоборот, имеют снижение в 2,4 раза. В точке №7 также наблюдается рост растягивающих напряжений в 6,7 раза и снижения сжимающих

напряжений в 3,6 раза. В точке №12 наблюдается рост величин растягивающих и снижение сжимающих напряжений. В точке №23, расположенной ближе к торцевой части образца, произошла перемена знака одного из главных напряжений σ_1 , т.е. растягивающие напряжения σ_1 перешли в сжимающие напряжения. В этом случае прирост сжимающих напряжений с течением времени составил: σ_1 в 2,1, а σ_2 в 1,2 раза.

В таблицах 5-8 приведены величины главных нормальных и максимальных касательных напряжений, измеренные в точках №1, №2, №3, №4 образца по горизонтальному сечению с течением времени (за 1,5 года).

Таблица 5. Точка № 1.

Дата измерений	Величины напряжений, МПа		
	σ_1	σ_2	$T_{\max}$
0	1,3	-26,3	13,8
4.VII-2012	0,1	-11,3	5,6
11.VII-2012	0,7	-15,6	8,1
18.VII-2012	1	-12,2	6,6
25.VII-2012	0,6	-14,1	7,4
6.XI-2012	1,1	-13,1	7,1
11.IV-2013	0,3	-11,98	6,13
16.V.-2013	1,2	-12,1	6,6
18.VI-2013	0,6	-11,6	6,1
18. VII-013	1,7	-13,5	7,6
18. IX-2013	0,5	-12,7	6,6

Таблица 6. Точка № 7

Дата измерений	Величины напряжений, МПа		
	σ_1	σ_2	$T_{\max}$
0	12,8	-14,8	13,8
4.VII-2012	0,14	-15,1	7,6
11.VII-2012	1,1	-13,1	7,1
18.VII-2012	0,84	-14,4	7,6
25.VII-2012	1,4	-13,8	7,6
6.XI-2012	0,2	-15,1	7,6
11.IV-2013	1,04	-13,2	7,1
16.V.-2013	2,22	-11,97	7,1
18.VI-2013	1,3	-10,96	6,1
18. VII-2013	2,3	-11,9	7,1
18. IX-2013	-0,5	-14,7	7,1

Таблица 7. Точке №12.

Дата измерений	Величины напряжений, МПа		
	σ_1	σ_2	$T_{\max}$
0	7,8	-23,9	15,9
4.VII-2012	0,2	-11,2	5,7
11.VII-2012	2,4	-16,1	9,3
18.VII-2012	0,8	-12,4	6,6
25.VII-2012	1,5	-13,7	7,6
6.XI-2012	0,48	-15,8	8,1
11.IV-2013	2,3	-10,96	6,6
16.V.-2013	3,5	-9,7	6,6
18.VI-2013	2,4	-12,8	7,6
18. VII-2013	2,3	-12,9	7,6
18. IX-2013	-0,9	-15,1	7,1

Таблица 8. Точке №23.

Дата измерений	Величины напряжений, МПа		
	σ_1	σ_2	$T_{\max}$
0	12,9	-16,7	14,8
4.VII-2012	-1,4	-16,6	7,6
11.VII-2012	0,9	-14,3	7,6
18.VII-2012	-0,9	-15,1	7,1
25.VII-2012	0,7	-14	7,4
6.XI-2012	-4,3	-18,5	7,1
11.IV-2013	-1,0	-14,2	6,6
16.V.-2013	1,1	-14,1	7,6
18.VI-2013	0,5	-14,7	7,6
18. VII-2013	1,7	-13,6	7,6
18. IX-2013	0,7	-12,6	6,6

а

ные приведенные в таблицах 5-8 показывают, что по горизонтальному сечению образца в указанных выше точках произошли значительные снижения величин суммарных главных и максимальных касательных напряжений. Например: в точке №1 величина растягивающих напряжений σ_1 по сравнению с величиной остаточных (начальных) напряжений в образце снизилась в 2,6 раза за 1,5 года. Величина сжимающих напряжений σ_2 - в 2,1 раза, а сдвигающих напряжений $T_{\max}$ - в 2,1 раза. В трех остальных точках также наблюдаются значительные снижения величин указанных выше напряжений.

Таким образом, полученные результаты показали, что на протяжении указанного выше промежутка времени исследований, величины напряжений в указанных выше точках образца не оставались постоянными. С течением времени по вертикальному сечению в отмеченных точках образца повышенные значения растягивающих напряжений сохраняются. В точках, расположенных ближе к торцевой части образца, наблюдается рост величин сжимающих напряжений.

Также нужно отметить, что перераспределение одного из главных нормальных напряжений σ_1 по данному сечению имеет неоднородный, знакопеременный характер. А по горизонтальному сечению образца, по сравнению с остаточными напряжениями, с течением времени наблюдается снижение величин и растягивающих, и сжимающих напряжений более, чем в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.С. Пономарев. Парадокс релаксации напряжений в горных породах. //Журнал «Природа», 1985, №5. с.53-61.
2. Р.И. Хаимова-Малькова. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. //Изд. «Наука», Москва, 1970. с. 115.
3. Г.О. Казакбаева. Распределение напряжений при одноосном сжатии оптически активного образца с остаточными напряжениями. //сб.Современные проблемы механики сплошных сред. Бишкек, 2013, Вып.17, с.143-150.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА НА ОСНОВЕ УСТАНОВЛЕННЫХ ЛИНИЙ СКОЛЬЖЕНИЯ И ОПОЛЗНЕВОГО ДАВЛЕНИЯ

С.Б. Омуралиев

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Задача устойчивости массивов грунта имеет весьма существенные особенности, обусловленные спецификой движения масс при нарушении их устойчивости. Причинами нарушения устойчивости земляных масс будут: эрозионные процессы и нарушение равновесия. Эрозионные процессы протекают, как правило, весьма медленно, незаметно. Зависят они от внешних метеорологических и физико-геологических условий, а также от свойств поверхности массива грунта. Нарушение равновесия массивов грунта может происходить внезапно со сползанием значительных масс грунта. Этот процесс происходит в различного рода откосах и природных склонах как при увеличении действующих на массив нагрузок, т.е. при изменении веса слоев грунта при насыщении их водой в условиях продолжительных дождей и паводков, а также вследствие подвешивания капиллярной влаги при понижении уровня грунтовых вод, так и при уменьшении внутренних сопротивлений.

Оползни представляют большую угрозу существованию гражданских и промышленных сооружений, инженерных коммуникаций, железных и автомобильных дорог, линий электропередач и других инженерных сооружений. Они наносят большой материальный ущерб и

требуют огромных экономических затрат на ликвидацию последствий разрушения.

При этом масштабы оползневых явлений, размеры и форма оползней, характер и скорость перемещения оползневых масс, а также факторы, их обусловившие, могут быть разные. Поэтому изучение этих факторов-актуально.

Подавляющее большинство оползней на территории Кыргызстана развивается на горных склонах, покрытых с поверхности мощными лессами и лессовидными суглинками. Одним из ведущих факторов возникновения и периодической массовой активизации таких оползней являются климатические условия, а именно количество атмосферных осадков и режим температуры воздуха в зимне-весенний период (декабрь-май) [1].

Для установления максимального значения оползневого давления E необходимо сначала найти в оползневом склоне наиболее опасную поверхность скольжения. Разработан способ отыскания этой поверхности путем построения вариационного функционала E [2].

В отличие от работы [3], оползневое давление E определяется на каждой границе отсека, как разность между сдвигающими и удерживающими силами с учетом линии депрессии потока атмосферных осадков на оползневом склоне.

Профиль оползнеопасного склона будем описывать зависимостью $y=H(x)$, линия депрессии потока атмосферных осадков $y=D(x)$ и для линии скольжения $y=y(x)$.

Для определения линии депрессии, т.е. $y=D(x)$, склон подразделяется на несколько вертикальных блоков и для каждого блока составляется уравнение баланса дождевой воды [4].

$G_{\text{инф.}}$ - сила инфильтрационного давления дождевой воды считается, как сдвигающая сила. Значение $G_{\text{инф}}$ имеет следующий вид:

$$G_{\text{инф.}} = \gamma_w (H - D) \Delta x \sin \beta_i \quad (1)$$

где γ_w – удельный вес дождевых вод; β_i – угол наклона линии депрессии.

$$\text{Так как } \cos \alpha_i = \frac{1}{\sqrt{1+y'^2}}; \sin \alpha_i = \frac{y'}{\sqrt{1+y'^2}}; \sin \beta_i = \frac{D'}{\sqrt{1+D'^2}}.$$

После соответствующих подстановок получим зависимость, определяющую приращение E для элементарного отсека при произвольной форме линий скольжения и депрессии:

$$F(x, y, y') = -\gamma_w m(H - D) \left[\frac{y' + tg\varphi}{1 - y' tg\varphi} - \frac{D'}{\sqrt{1 + D'^2}} \right] - \gamma_{rp}(H - y)(1 - m) \left[\frac{y' + tg\varphi}{1 - y' tg\varphi} \right] - c \frac{1 + y'^2}{1 - y' tg\varphi}$$

Получаем выражение E в произвольном сечении x склона в виде интеграла: $E = \int_{x_0}^x F(x, y, y') dx$ (2)

где x_0 -координата, соответствующая начальной точке оползнеопасного блока.

Искомое значение $y=y(x)$ линии скольжения, определяющее экстремум оползневого давления, должно удовлетворять уравнению Эйлера[5].

В результате, это уравнение для функционала (2) принимает следующий вид:

$$2y''(1 + tg^2\varphi)[\gamma_w m(H - D)tg\varphi + \gamma_{rp}(H - y)(1 - m)tg\varphi + c] + (1 - y' tg\varphi)\{\gamma_{rp}(1 - m) - \gamma_w m(H' - D') + \gamma_{rp}(1 - m)H' - y'\} = 0 \quad (3)$$

Поскольку дифференциальное уравнение (3) второго порядка, для его решения задаются два условия – положение начальной точки и начальный наклон линии скольжения.

Значение E находят вычислением интеграла (2), соответствующего принципу определения максимального E на полученной линии скольжения.

В результате строится эпюра оползневого давления вдоль соответствующей опаснейшей линии сползания неустойчивого грунтового блока.

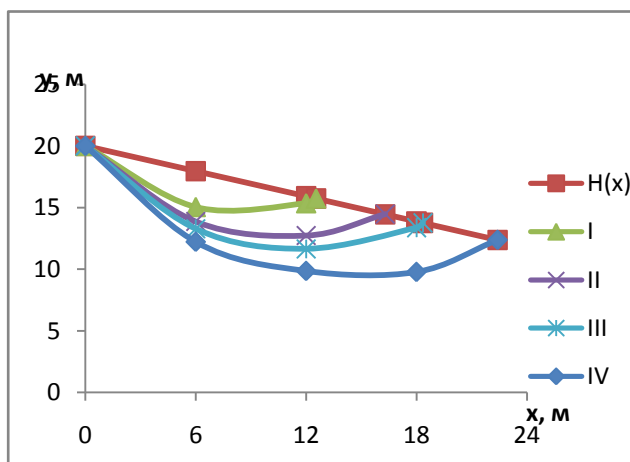
Рассмотрен однородный суглинистый грунт. Водно-физические и физико-механические свойства грунта имеют значения: $K_\phi=0,0036$ м/час., $m=0,35$, $\varphi=10^\circ$, $C=3$ кН/м², $\gamma_{ep}=18$ кН/м³, $\gamma_w=10$ кН/м³.

За 24 часа $D(x)$ имеет следующий вид:

$$D(x) = -0,343x + 18,63$$

Тогда результаты расчета за 24 ч имеют (рисунок и таблица).

А)



Б)

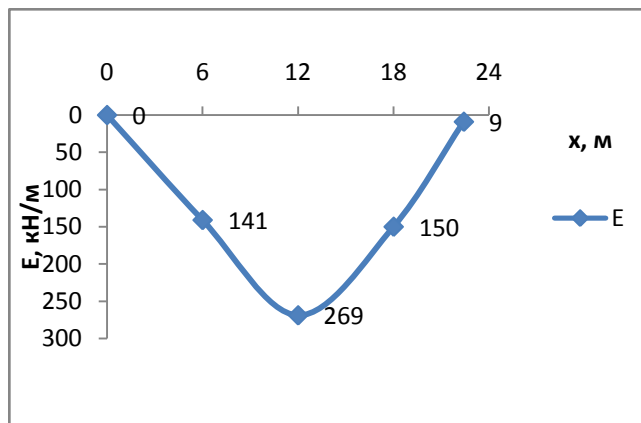


Рис. Определение опасной линии скольжения:
А – линии скольжения I-IV; Б – эпюра оползневого давления вдоль наиболее опасной линии скольжения

Таблица. Результаты расчета

x, м	H, м	$\alpha_0^I = -70^0$			$\alpha_0^{II} = -75^0$			$\alpha_0^{III} = -79^0$			$\alpha_0^{IV} = -80^0$		
		y, м	E, кН/м	K _y	y, м	E, кН/м	K _y	y, м	E, кН/м	K _y	y, м	E, кН/м	K _y
0	20	20	0	-	20	0	-	20	0	-	20	0	-
6	17,96	15,05	43	-	13,86	85	-	12,60	127	-	12,22	141	-
12	15,92	15,36	-18	-	12,72	76	-	10,49	218	-	9,86	269	-
12,54	15,74	15,74	-25	1,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,30	14,46	-	-	-	14,46	-18	1,11	-	-	-	-	-	-
18	13,88	-	-	-	-	-	-	10,88	76	-	9,78	150	-
20,89	12,89	-	-	-	-	-	-	12,89	-1	1,01	-	-	-
22,41	12,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,38	9	0,97
24	11,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	9,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	7,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	5,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Из сравнения расчета следует, что наиболее опасной является линия скольжения IV с углом $\alpha_0=80^\circ$. Ей соответствует коэффициент устойчивости $K_y=0,97$, меньший единицы. Следовательно, данный массив является неустойчивым. Для наиболее опасной линии скольжения эпюра оползневой нагрузки представлена на рисунке Б.

В результате применения вариационного метода по изучению устойчивости склонов расчеты оползневой нагрузки, установлено:

1. Для определения коэффициента устойчивости склонов, сложенных однородными грунтами, у которых прочностные характеристики одинаковы по всей длине поверхности скольжения, вариационный метод позволяет получить критическую поверхность скольжения.
2. На основе вариационного метода выявлены наиболее опасные линии поверхности скольжения глинистых грунтов и определены коэффициенты устойчивости склона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Торгоев И.А, Алешин Ю.Г., Аширов Г.Э. Влияние климата на возникновение оползней в Кыргызстане. Научно-инженерный центр “ГЕОПРИБОР” НАН Кыргызской Республики, г. Бишкек (www.mountainthazarad.com, 2013.com)
2. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции. – М.: Стройиздат, 1979. -80 с.
3. Гинзбург Л.К., Раздольский А.Г. Определение максимального оползневой нагрузки.// Основания, фундаменты и механика грунтов. 1992. № 5. –С.11-14.
4. Джаманбаев М.Дж., Душенова У.Дж., Омуралиев С.Б. Инфильтрация атмосферных осадков по наклонному склону. //Известия КГТУ им. И. Раззакова, -Б.: Текник, 2012.-№26, -С.214-217.
5. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. –М.:Наука, 1969.

РАЗУПРОЧНЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СВЧ-ВОЛН

Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т.

КГТУ им. И. Раззакова

В процессе рудоподготовки, механическое измельчение руды, необходимое для дальнейшей флотации, является наиболее энергоемким и дорогостоящим процессом в технологической цепи извлечения полезных компонентов (металлов, полезных минералов). При этом, КПД процесса механического измельчения составляет всего 5-10% остальная часть, приложенной для разрушения (образование новой поверхности) руды энергии, рассеивается в виде диссипативных потерь (энергия теплоты, звука, колебаний окружающей среды). Поэтому большой практический интерес представляют разработка новых способов разрушения или разупрочнения руд и минералов, новых энерго- и ресурсосберегающих технологий измельчения руд. Воздействие электрических, электромагнитных полей на горные породы приводит к изменению их механических свойств, формированию и изменению структурных остаточных напряжений на границах и внутри зерен, нарушению структурных связей, приводящие к разупрочнению крепких руд и минералов.

Из всех известных и в определенной мере изученных видов энергии, наиболее перспективна энергия электромагнитного поля сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона. Преимущество

разупрочнения в СВЧ электромагнитных полях - это объемный характер влияния СВЧ энергии на структурное состояние руд [3].

Известно, что при воздействии СВЧ волнами на рудосодержащие минералы металлов, как (пирит, никелит, магнетит и т.д.) и минералы пустой породы (кварц, кальцит, и т.д.), в первых - происходит значительное поглощение энергии СВЧ волн, чем во вторых. Поэтому в СВЧ поле рудные минералы нагреваются, а пустая порода в начале остается холодной. Неравномерное нагревание приводит к появлению термомеханических напряжений и образованию микротрещин, а также формированию остаточных напряжений, которые, в свою очередь, тоже обуславливает изменение прочности [1].

Метод исследования. Нами, проведены экспериментальные исследования изменения энергоемкости измельчения горных пород и руд, с целью управления их прочностными свойствами, путем воздействия на них сверхвысокочастотными электромагнитными волнами - СВЧ облучением.

Следует отметить, что длительность воздействия СВЧ волн определяет не только эффект разупрочнения и упрочнения, но и величину потребляемой энергии.

Целью наших исследований является- снижение энергоемкости измельчения руд и минералов, уменьшение износа металлических частей мельниц и увеличение выхода полезных компонентов. Для определения коэффициента крепости пород , используют энергию свободно падающего груза. В одном опыте 5 кусков руды измельчается свободно падающим грузом по известной методике определения коэффициента крепости по толчению [5].

Отбирают пробу руды, из которого изготавливают навески (куски со средним размером 2 см по 25 штук для каждого режима СВЧ воздействия). Опыты для каждого режима повторяется 5 раз.

Для исследований, из рудного месторождения отбирают необходимое количество минералов или руд и изготавливают навески размером в 20-25 мм в поперечнике каждый. Для получения средней величины коэффициента крепости и удельной энергоемкости измельчения, производится по 5 определений для каждой продолжительности СВЧ воздействия на одной и той же пробе породы. Коэффициенты крепости определяется на специальном приборе ПОК (прибор для определения крепости), состоящий из трубчатого копра, измерителя мелкой фракции. Каждая отдельная навеска дробится в стакане вертикально трубчатого копра прибора ПОК гирей массой 2,4 кг, сбрасываемой с высоты 600 мм. В случае необходимости изменение величины работы разрушения при толчении, целесообразно варьировать число ударов падающей гири по навеске.

Вес гири и высоту ее сбрасывания следует оставлять постоянным. Выходившая после толчения мелочь высыпается из стакана копра на сито с отверстиями 0,5 мм, и по отдельности 5 навесок, раздробленных в копре прибора, просеивается. Фракция размером мельче 0,5 мм (прошедшая через сито с этим размером) собирается и насыпается в стакан объемометра диаметром 23 мм, при помощи которого определяется высота столбика этой пылевой фракции. Величина коэффициента крепости исследуемой горной породы вычисляется по отношению затраченной на дробление работы к вновь образованной поверхности по эмпирической формуле М.М. Протоdjяконова [5].

Обычно, для руд с низкой и средней прочности производят в зависимости от прочности руды от 3 до 15 ударов. Для подавляющего большинства руд кривая зависимости выхода пыли, характеризуемого величиной I , зависящей от затраченной на дробление работы A имеет тенденцию к выполаживанию при больших значениях A . Поэтому

рекомендуется подбирать число ударов для каждой испытываемой руды, соответствующее определенной работе A , для разрушения навески, чтобы выход пыли / был примерно в пределах от 20 до 70 мм.

Исследованиями установлено, что вновь образованная при дроблении хрупкого материала поверхность, складывается в основном (примерно на 90%) из поверхности мельчайших кусочков величиной менее 0,5 мм. Поэтому для значительного упрощения метода, после дробления определяется поверхность только мелких фракций - менее 0,5 мм – т. е. величина высоты столбика пыли в объемомере при этом пропорциональна вновь образованной поверхности полученных при дроблении кусочков [5].

По установленному коэффициента крепости - определяется удельная энергоемкость измельчения для исходного состояния (не подвергнутых к облучению), и после воздействия СВЧ-волн, для разное время длительности СВЧ воздействия. Определяется оптимальное значение продолжительности времени воздействия СВЧ волн, соответствующее минимальному значению удельной энергоемкости измельчения данной руды. Образцы подвергаются воздействию СВЧ-волн в микроволновой печи. Для облучения используется СВЧ- печь (микроволновая печь). В печи электричество, проводимое магнетрону, используется для генерации микроволновой энергии. Микроволны проникают в зону воздействия через отверстия внутри печи и не могут проникать через металлические стенки печи, в печи можно выбирать 5 уровней микроволновой мощности. Использовалась уровень мощности – 700 Вт. Частота микроволн – 2450 МГц. Полезный объем печи составляет 0,03 м³. Образцы руд навесками по 200–250 г и средними размерами 20-25 мм помещались вовнутрь печи и облучались СВЧ – импульсами.

Режим выдержки в печи следующее: от одного до девяти минут через интервал 1 минуты, а в некоторых случаях от одного до двадцати минут, через каждые 2-5 минут.

Оптимальное значение продолжительности времени воздействия СВЧ волн принимают для обработки всей руды данного типа и размера кусков подлежащих к измельчению в производственных условиях. Как видно из рисунков 1,2,3,4 оптимальное значение времени воздействия СВЧ волн для известняка (карьер Ак-Татыр, Баткенская область), диорита (месторождение Токтозан), филлита серого (рудник Кумтор) составляет 3 минуты, а для кварца (рудник Восточный Коунрад) – 5 минут.



Рис. 1. Зависимость удельной энергоемкости измельчения от времени воздействия



Рис. 2. Зависимость удельной объемной энергоемкости
измельчения диорита

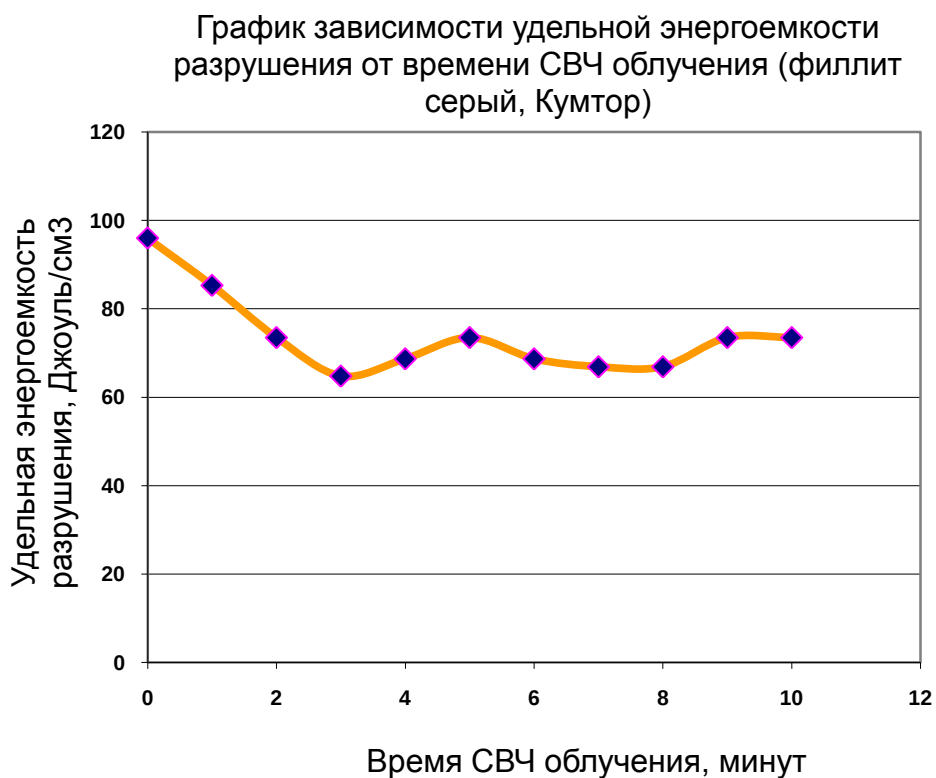


Рис. 3 График зависимости удельной энергоемкости разрушения

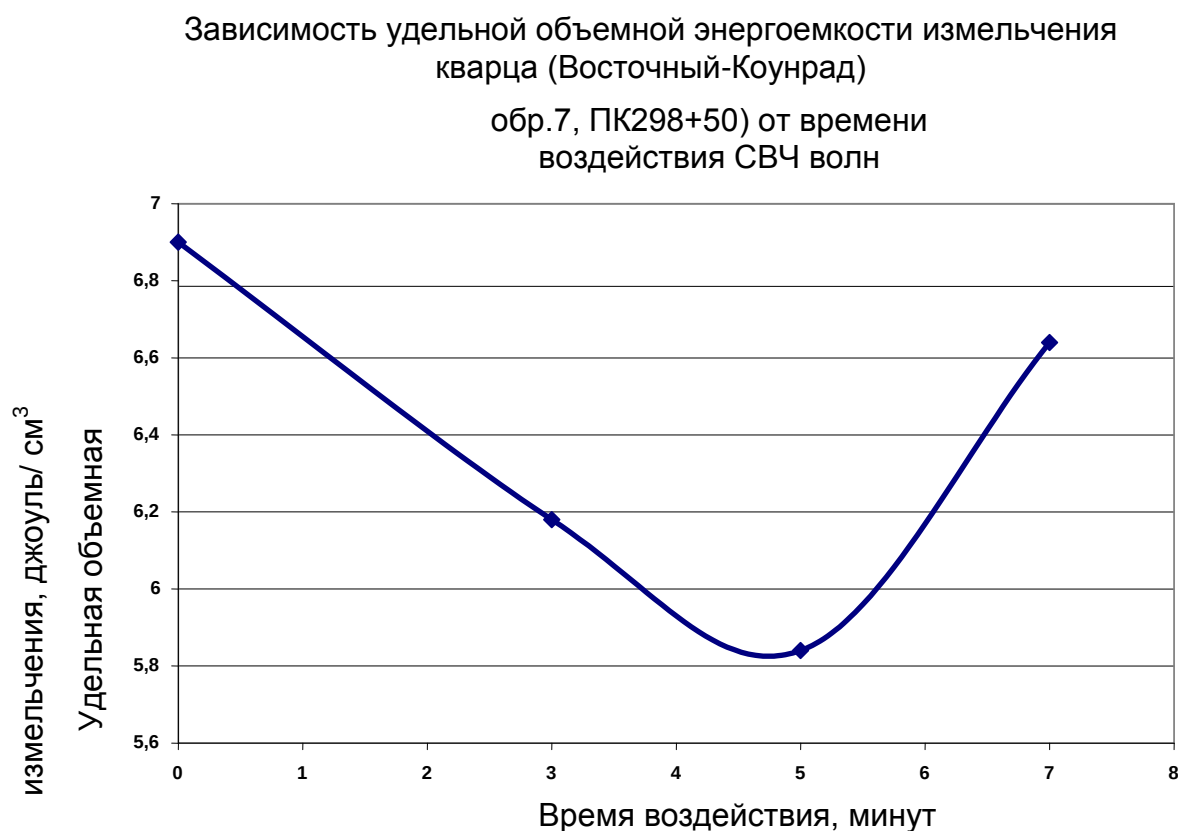


Рис. 4. Зависимость удельной объемной энергоемкости измельчения кварца (Восточный-Коунрад)

Следует отметить, что экономия энергии на помоле при предварительном воздействии СВЧ волнами должно не только компенсировать энергозатраты на нагрев при предварительном СВЧ воздействии, но и обеспечить существенную экономию энергии. Судя по снижению прочности можно отметить, что уменьшение износа, следовательно, расхода металла в мельницах тоже будет значительным. Структурный анализ показывает, что при воздействии СВЧ волн улучшается раскрываемость зерен извлекаемых металлов и минералов. Например, как показывают наши опыты и расчеты, для диорита месторождения Токтозан удельная энергоемкость измельчения в исходном состоянии составляет 87 Дж/см^3 , а после 3 минуты воздействия СВЧ волн – 30 Дж/см^3 (рис. 2). Расход энергии при мощности печи $0,7 \text{ кВт}$ и в течении 3 минуты составляет $0,7 \cdot 0,05 \text{ ч}$

= 0,035 кВт час или 35 Вт час * $3,6 \cdot 10^3$ = 126000 Дж. При полезном объеме печи 30000 см³ удельный расход энергии на 3 минутное СВЧ облучение составляет 126000 / 30000 = 4,2 Дж/см³. С учетом расхода энергии на СВЧ облучение общая удельная энергоемкость измельчения составляет 30+4,2 = 34,2 Дж/см³. Таким образом, экономия энергии при оптимальном СВЧ облучении, по сравнению с необлученным (исходным) состоянием, составляет 87-34,2 = 52,8 Дж/см³, или экономия энергии при измельчении диорита после СВЧ облучения составляет 60,7%.

Также для известняка (карьер Ак-Татыр) удельная энергоемкость измельчения в исходном состоянии составляет 120 Дж/см³, а после 3 минуты воздействия СВЧ волн – 73 Дж/см³ (рис. 1). С учетом расхода энергии на СВЧ облучение общая удельная энергоемкость измельчения составляет 73+4,2 = 77,2 Дж/см³. Экономия энергии при оптимальном СВЧ облучении, по сравнению с необлученным (исходным) состоянием, для известняка составляет 120-77,2 = 42,8 Дж/см³ или экономия энергии при измельчении после СВЧ облучения составляет 35,7 %.

Следует отметить, что чем больше неоднородность руды, тем больше эффект разупрочнения и экономия энергии при измельчении.

Применение предлагаемого метода обеспечит экономию энергии за счет уменьшения удельной энергоемкости измельчения, а также увеличение выхода полезных компонентов (извлекаемого металла), за счет улучшения раскрываемости минеральных зерен, так как при оптимальной длительности воздействия на руду СВЧ волн происходит существенное разупрочнение руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Москалев А.Н. и др. Способ разрушения горных пород электромагнитными волнами. Авт. св. СССР № 724731, кл. E21C 37/18, 1977г.).

2. Абкин Е.Б. и др. Измельчение руд с применением электромагнитной энергии СВЧ. Обогащение руд. Ленинград, 1986, № 6, с 2-5.
3. Новик Г.Я., Зильбершмидт М.Г. . Управление свойствами пород в процессах горного производства. М., Недра, 1994.
4. Зецер Ю.И. и др. Применение СВЧ - нагрева для рудоподготовки железистых кварцитов Михайловского горно-обогатительного комбината перед их обогащением. //Всес. У1 научно-практич. конф. "Применение СВЧ-энергии в технологич. процессах и научных исследованиях". Тезисы докл., Саратов, 1991, -с. 98-100.
5. Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения. -М.: Недра. - 1969. – 452 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НЕОДНОРОДНОГО НАКЛОННОСЛОИСТОГО СТРОЕНИЯ

Толобекова Б., Баймахан Р., Рыспаева А.К.

ИГиОН НАН КР

Анализ типов, классификации, способов возведения плотин показал, что современная практика плотиностроения все чаще прибегают к наиболее экономичную и надежную технологию, заключающегося в применении в качестве строительного материала горных пород совместно с местными грунтами.т.е. с включением современных геосинтетических материалов.

Очень трудно отдать предпочтение конструкции горизонтально слоистому или наклонно слоистому способу возведения плотин. Ответ можно получить только после основательного и всестороннего специального исследования современными методами геомеханики, геотехнологии и математического моделирования.

Для ответа на этот вопрос необходимо решить задачи об их устойчивости и прочности.

Одним из современных инновационных гидроизоляционных геосинтетических материалов является бентомат. Бентоматы, представляют собой гидроизоляционное полотно, который состоит из нескольких слоев: нижний слой из нетканого геотекстиля, верхний слой из тканого геотекстиля, средний слой из бентонитовых гранул, так называемой природной бентонитовой глиной, которые прошиваются иглопробивным способом.

На рисунке 1 показана технология возведения плотин со сложной смесью из местных геоматериалов. В данном случае, в качестве строительной массы применяется разновидность из местных грунтов и горной породы типа песка, супеси, щебня, галечника и валуна. В этом варианте возведения плотин геосинтетические материалы применяются в конструкциях плиты и экрана.

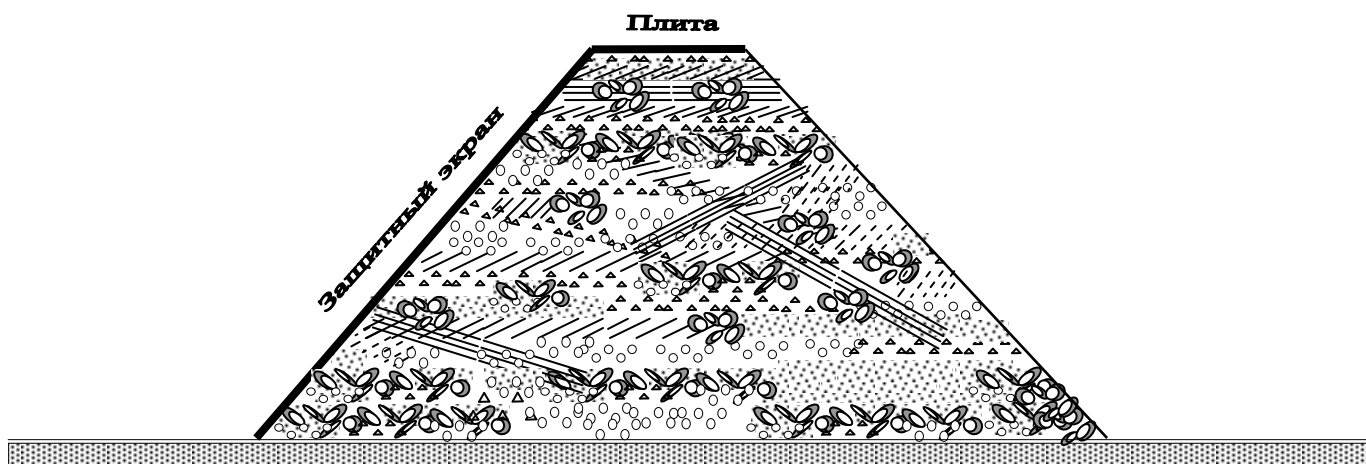


Рис. 1. Анизотропия общего вида.

Плотина, возведенная из сложной смеси грунтов и горных пород.

В данном способе возведения защитных систем для повышения прочности предусматривается применение сложной смеси намеренно. Моделировать математическими методами такой конструкции плотин, анизотропного строения общего вида, очень сложно, поэтому целесообразно изучить их на физических моделях.

На практике плотины строятся если не наклонно слоистой, то часто являются горизонтально слоистыми.

На рисунке 2 показан другой тип возведения защитных систем из приведенной технологии строительства, отличающий тем, что в данном случае применяются специальные прочные гидроизоляционные экранирующие бентонитные материалы в дополнение к плите и экрану, а также еще и между слоями

анизотропного строения. Эти геосинтетики, на рисунке показаны горизонтальными жирными линиями, как экран и плита.

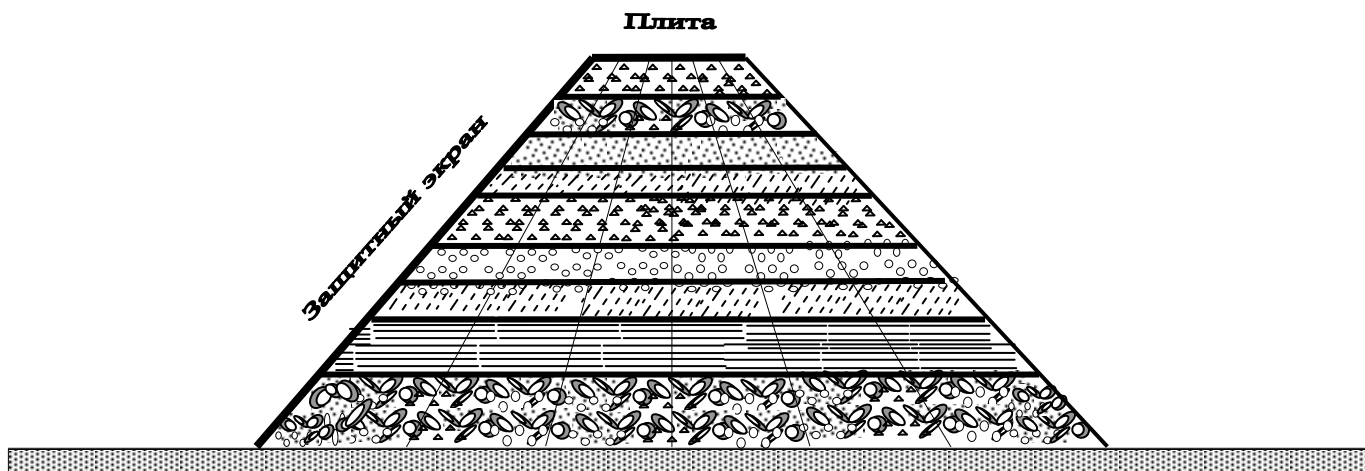


Рис. 3. Плотина, транстропного строения, возведенная горизонтальными слоями.

Известно, что горные плотины строятся каменно – набросными или каменно-земляными способами, напластованиями местных геосинтетических материалов. Слои часто имеют горизонтальные строения. Но встречаются и плотины наклоннослоистого строения. Например, самое высокое в мире плотина грунтового сооружения, построенная в районе сейсмичностью 9 баллов -Нурекский ГЭС Республики Таджикистан имеет слегка наклоннослоистое строение.

В природе практически все обнаженные горные породы имеют естественные наклонно слоистое транстропное строение. И поэтому идея строительства плотин наклоннослоистого строения является оправданным. Ниже на рисунке 4 предлагается новая конструкция плотин возводимая, согласно вышеупомянутой идеей, наклонными слоями транстропного строения.

Материалами, предлагаемые для плотины предложенной конструкции являются доступные местные глины, пески, разновидности суглинков, галечные, щебенистые грунты, валунные

включения, бетоны и др. в сочетании с инновационным материалом геотекстилем.

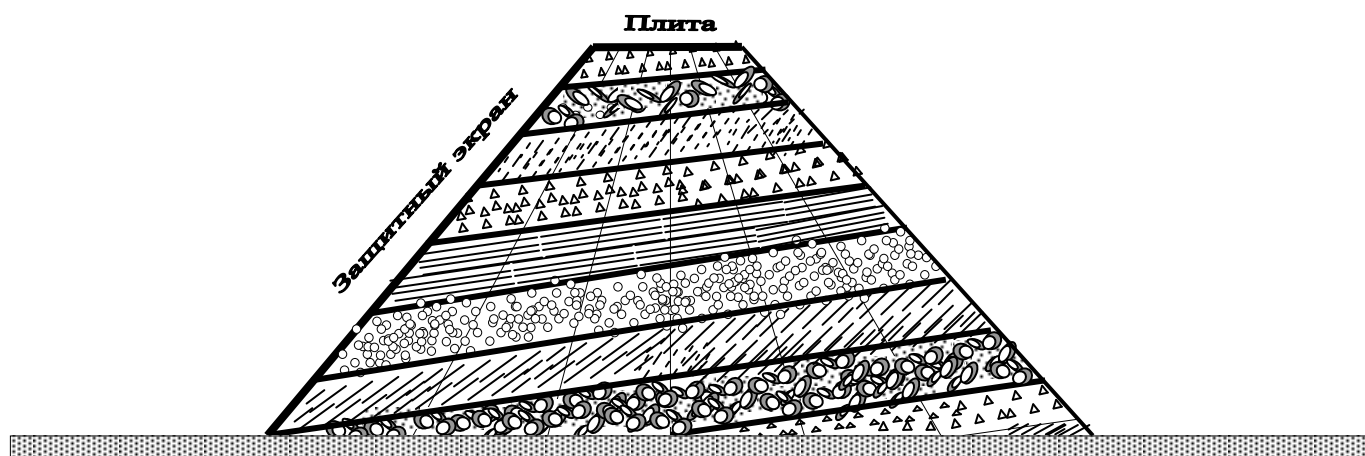


Рис. 4. Плотина, транзитного строения, возведенная наклонными слоями.

При строительстве плотин по предлагаемой технологии из возведения в качестве материала используется и современный инновационный материал – геотекстиль. Технология возведения отличается от существующих тем, что в образовании наклонных слоев в теле дамбы поочередно используется дешевые местные разнородные материалы в сочетании с инновационным геотекстилем, физико-механические свойства которых определены в предыдущем параграфе.

Таким образом, можно к следующим выводам:

1. Использование данного способа возведения защитных сооружений обеспечивает с одной стороны – экономичность при строительстве, с другой, и главной – повышение устойчивости плотин, которые служат надежной защитой от природных катастроф, со всеми негативными последствиями.
2. Повышение устойчивости при строительстве грунтовых плотин обеспечивается путем применения инновационных технологий ее возведения, заключающегося использования в сочетании местных

геосинтетических материалов в сочетании с современным химическим геотекстилем (эпокситов и бентотипов).

3. Новая технология возведения плотин, заключающего в наклоннослоистого строения, позволяет снижению накопления в его теле опасных концентраций напряжений, приводящие ее к разрушению (от воздействия геостатических, гидростатических, сейсмических сил и ударов штормовых волн).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВА В АТМОСФЕРНОМ ГАЗЕ МЕТОДОМ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ ДАВИДОВА

Чечейбаев А.Б., Чечейбаев Б., Эстебесова Н.Т.

КНУ им. Ж. Баласагына

Одним из мощных методов современного вычислительного эксперимента является метод крупных частиц, разработанный Ю.М. Давыдовым [1, 2 и др.]. Метод крупных частиц широко используется при решении задач науки и технологий - в механике сплошных сред, газовой динамике, гидродинамике, физике плазмы, нефте- и газодобыче и др.

Рассмотрим задачу о взрыве в атмосфере. Математической моделью задачи является нестационарная система уравнений Эйлера, состоящая из уравнений неразрывности, импульса и энергии:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \cdot \vec{U}) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \cdot u \cdot \vec{U}) + \frac{\partial p}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \cdot v \cdot \vec{U}) + \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \cdot E \cdot \vec{U}) + \operatorname{div}(p \cdot \vec{U}) = 0 \quad (4)$$

где ρ - плотность газа, p - давление газа, U - скорость газа, E - удельная полная энергия. Система (1) - (4) замыкается уравнением состояния:

$$p = \rho \cdot I \cdot (\gamma - 1), \quad (5)$$

здесь $I = E - \frac{1}{2} \cdot (u^2 + v^2)$ - удельная внутренняя энергия, γ - показатель адиабаты среды, принятый равным 1,4 в данной работе.

Исходная система (1) - (5) приводится к безразмерному виду, используя в качестве характерных физических параметров характерную скорость U_0 , характерную длину l_0 и характерную плотность ρ_0 . Тогда остальные характерные параметры задачи определяются так: $p_0 = \rho_0 \cdot U_0^2$, $E_0 = U_0^2$, $t_0 = l_0/U_0$. Положим, что $U_0 = 10^{5/2}$ м/с, $\rho_0 = 1$ кг/м³, $l_0 = 1$ м, $p_0 = 10^5$ Па, $E_0 = 10^5$ Дж. Безразмерные величины представляются в следующем виде: $\tilde{l} = l/l_0$, $\tilde{U} = U/U_0$, $\tilde{\rho} = \rho/\rho_0$, $\tilde{p} = p/(\rho_0 \cdot U_0^2)$, $\tilde{E} = E/(\rho_0 \cdot U_0^2)$.

Для расчета взрыва в атмосфере используем классический алгоритм метода крупных частиц, предложенный в кандидатской диссертации Ю.М. Давыдова для решения задач газовой динамики [1].

Эйлеров этап. На данном этапе пренебрегаем потоками массы, импульса и энергии через границы эйлеровых ячеек. Тогда дифференциальные уравнения и разностные схемы примут следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0, \quad \rho \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad \rho \cdot \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial p u}{\partial x} + \frac{\partial p v}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

$$\tilde{u}_{i,j}^n = u_{i,j}^n - \frac{p_{i+\frac{1}{2},j}^n - p_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta x}, \quad (7)$$

$$\tilde{v}_{i,j}^n = v_{i,j}^n - \frac{p_{i,j+\frac{1}{2}}^n - p_{i,j-\frac{1}{2}}^n}{\Delta y}, \quad (8)$$

$$\tilde{E}_{i,j}^n = E_{i,j}^n - \frac{p_{i+\frac{1}{2},j}^n u_{i+\frac{1}{2},j}^n - p_{i-\frac{1}{2},j}^n u_{i-\frac{1}{2},j}^n}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta t}{\rho_{i,j}^n} - \frac{p_{i,j+\frac{1}{2}}^n v_{i,j+\frac{1}{2}}^n - p_{i,j-\frac{1}{2}}^n v_{i,j-\frac{1}{2}}^n}{\Delta y} \cdot \frac{\Delta t}{\rho_{i,j}^n}, \quad (9)$$

где параметры на границах ячеек, рассчитываются, например, так:

$$p_{i+\frac{1}{2},j}^n = \frac{p_{i+1,j}^n + p_{i,j}^n}{2}.$$

Лагранжев этап. На этом этапе вычисляются эффекты переноса, учитывающие обмен между ячейками при их перестройке на прежнюю

эйлерову сетку. Здесь находятся за время Δt потоки массы ΔM^n через границы эйлеровых ячеек.

Исходное уравнение неразрывности (1) в разностной форме запишется так (в предположении, что поток жидкости через ячейку (i, j) направлен слева направо и снизу вверх):

$$\rho_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta x \cdot \Delta y = \rho_{i,j}^n \cdot \Delta x \cdot \Delta y + \Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^n - \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^n + \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^n - \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^n \quad (10)$$

На этом этапе вычисляются потоки массы ΔM^n :

$$\begin{aligned} \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^n &= \langle \rho_{i+\frac{1}{2},j}^n \rangle \cdot \langle \tilde{u}_{i+\frac{1}{2},j}^n \rangle \cdot \Delta y \cdot \Delta t, \quad \Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^n = \langle \rho_{i-\frac{1}{2},j}^n \rangle \cdot \langle \tilde{u}_{i-\frac{1}{2},j}^n \rangle \cdot \Delta y \cdot \Delta t, \\ \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^n &= \langle \rho_{i,j+\frac{1}{2}}^n \rangle \cdot \langle \tilde{u}_{i,j+\frac{1}{2}}^n \rangle \cdot \Delta x \cdot \Delta t, \quad \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^n = \langle \rho_{i,j-\frac{1}{2}}^n \rangle \cdot \langle \tilde{u}_{i,j-\frac{1}{2}}^n \rangle \cdot \Delta x \cdot \Delta t, \end{aligned} \quad (11)$$

где, например, поток массы через правую границу ячейки $\Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^n$ определялись по формулам первого порядка точности:

Если $u_{i,j}^n + u_{i+1,j}^n > 0$, то $u_{i+1/2,j}^n = (u_{i,j}^n + u_{i+1,j}^n) / 2$, $\rho_{i+1/2,j}^n = \rho_{i,j}^n$.

Если $u_{i,j}^n + u_{i+1,j}^n < 0$, то $u_{i+1/2,j}^n = (u_{i,j}^n + u_{i+1,j}^n) / 2$, $\rho_{i+1/2,j}^n = \rho_{i+1,j}^n$.

(12)

Заключительный этап. Здесь происходит перераспределение массы, импульса и энергии по пространству и определяются окончательные поля эйлеровых физических параметров потока на фиксированной расчетной сетке в следующий момент времени $t^{n+1} = t^n + \Delta t$.

$$\rho_{i,j}^{n+1} = \rho_{i,j}^n + \frac{\sum \Delta M_k}{\Delta x \cdot \Delta y} = \rho_{i,j}^n + \frac{\Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^n - \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^n + \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^n - \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{\Delta x \cdot \Delta y}, \quad (13)$$

$$X_{i,j}^{n+1} = \frac{\rho_{i,j}^n}{\rho_{i,j}^{n+1}} \tilde{X}_{i,j}^n + \frac{\tilde{X}_{i-1,j}^n \Delta M_{i-\frac{1}{2},j}^n - \tilde{X}_{i,j-1}^n \Delta M_{i+\frac{1}{2},j}^n + \tilde{X}_{i,j-1}^n \Delta M_{i,j-\frac{1}{2}}^n - \tilde{X}_{i,j+1}^n \Delta M_{i,j+\frac{1}{2}}^n}{\rho_{i,j}^{n+1} \cdot \Delta x \cdot \Delta y}, \quad (14)$$

где $X = \{u, v, E\}$.

Для моделирования граничных условий на границах области интегрирования применялся метод фиктивных ячеек, разработанный автором метода Ю.М. Давыдовым [1 и др.].

Условие свободного вытекания, например, на правой границе области интегрирования, достигалось следующими условиями для двух слоев фиктивных ячеек:

$$\begin{aligned}\rho_{N+1,j}^n &= \rho_{N,j}^n, \quad p_{N+1,j}^n = p_{N,j}^n, \quad E_{N+1,j}^n = E_{N,j}^n, \quad u_{N+1,j}^n = u_{N,j}^n, \quad v_{N+1,j}^n = v_{N,j}^n \\ u_{N+2,j}^n &= 2 \cdot u_{N,j}^n - u_{N-1,j}^n, \quad v_{N+2,j}^n = 2 \cdot v_{N,j}^n - v_{N-1,j}^n, \\ E_{N+2,j}^n &= 2 \cdot E_{N,j}^n - E_{N-1,j}^n, \quad p_{N+2,j}^n = 2 \cdot p_{N,j}^n - p_{N-1,j}^n, \quad \rho_{N+2,j}^n = 2 \cdot \rho_{N,j}^n - \rho_{N-1,j}^n.\end{aligned}$$

Условия непротекания на нижней границе области интегрирования:

$$\begin{aligned}\rho_{i,M-1,j}^n &= \rho_{i,M}^n, \quad p_{i,M-1,j}^n = p_{i,M}^n, \quad E_{i,M-1,j}^n = E_{i,M}^n, \quad u_{i,M-1,j}^n = u_{i,M}^n, \\ v_{i,M-1,j}^n &= -v_{i,M}^n.\end{aligned}$$

Имитация взрыва в атмосфере достигалась постановкой условия, предложенного в работе [4]:

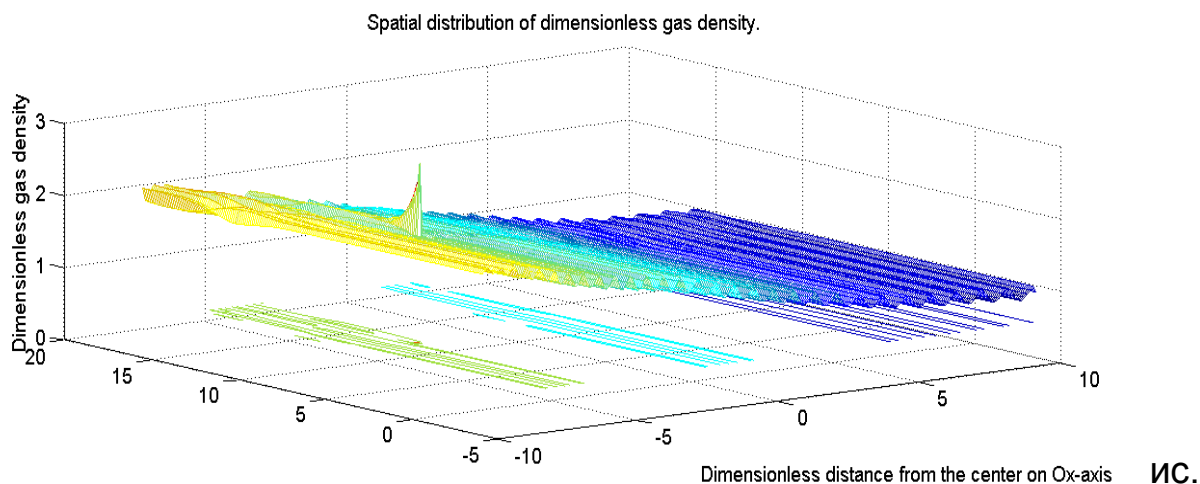
$$\rho_{k,l}^n = M \cdot \rho_{start},$$

где M – коэффициент, характеризующий мощность взрыва, ρ_{start} – начальная плотность невозмущенного газа. До начала взрыва газ принимался покоящимся (скорость равна нулю), $\tilde{\rho} = 1, \tilde{p} = 1$.

В первой серии проведенных вычислительных экспериментов область интегрирования представляла собой квадрат, разбитый на 201 ячейку по каждой стороне. Адрес ячейки взрыва в атмосфере: номер ячейки по горизонтальной оси равен 101 слева направо, а по вертикальной оси – 41 ячейка снизу вверх. На левой, верхней и правой границах области интегрирования ставились условия свободного вытекания, а на нижней – условия непротекания. Коэффициент M в ячейке взрыва варьировался в пределах интервала [1; 30]. Безразмерные шаги интегрирования выбраны так: $\widetilde{dx}=0.1$, $\widetilde{dy}=0.1$, $\widetilde{dt}=0.01$.

На рис. 1 представлено распределение безразмерной плотности газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=3000$. Горизонтальными

осями графика служат безразмерные расстояния от точки взрыва параллельно сторонам области интегрирования.



1.

На рис. 3. изображено распределение безразмерной плотности газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=3000$. По горизонтальной оси отложено безразмерное расстояние от точки взрыва вдоль горизонтальной линии области интегрирования. $M=3$.

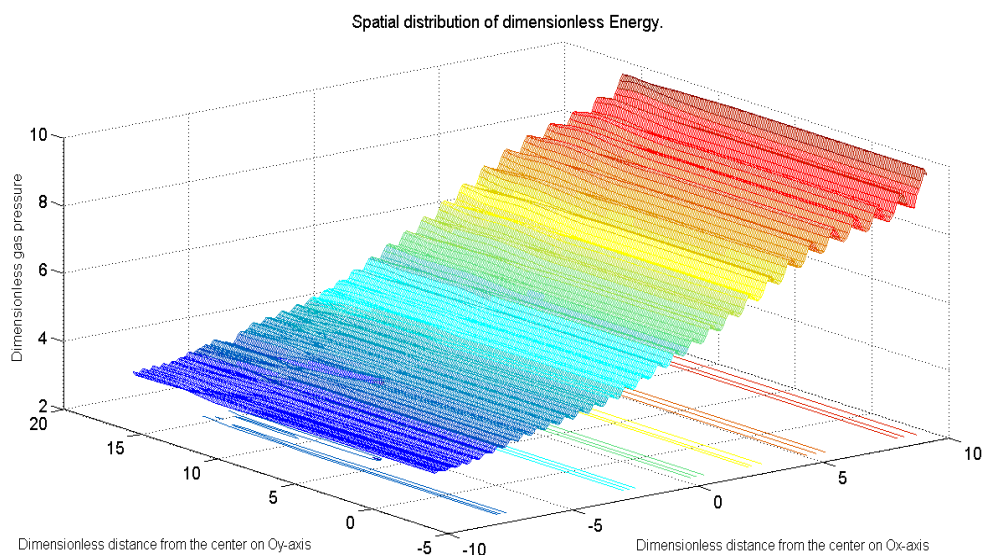


Рис. 2. $M=3$. Распределение безразмерной удельной энергии газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=3000$.

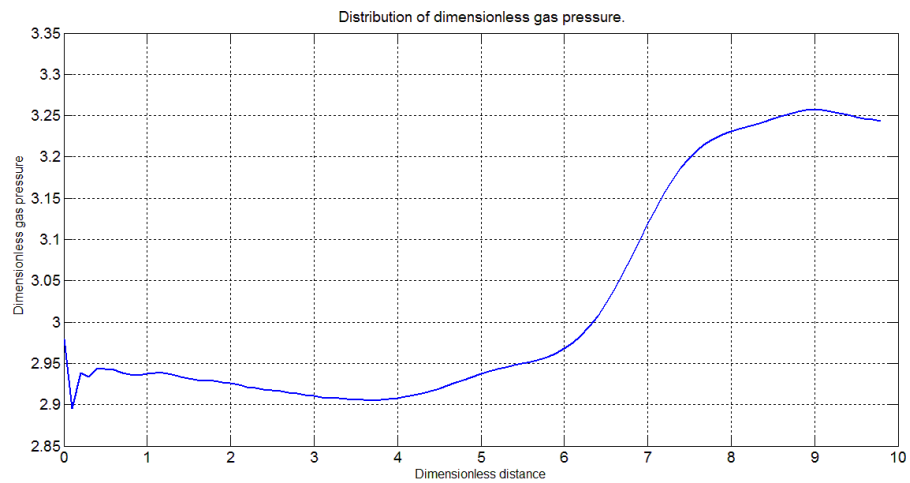


Рис. 3.

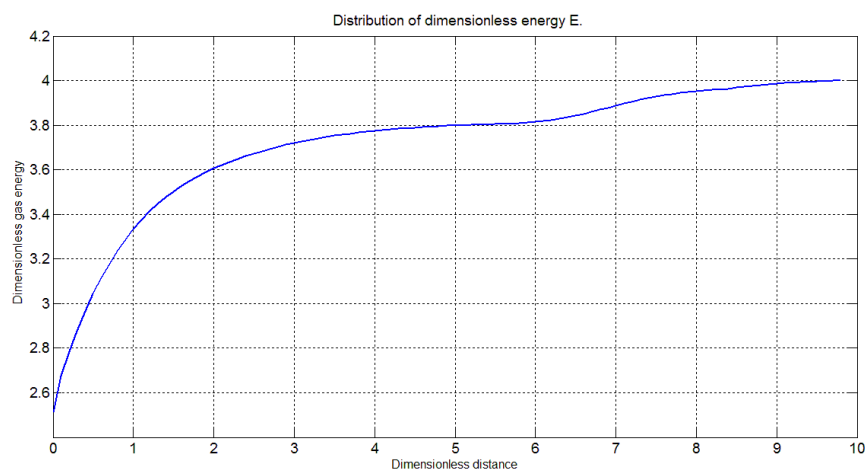


Рис. 4. $M=3$. Распределение безразмерной удельной энергии газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=3000$.

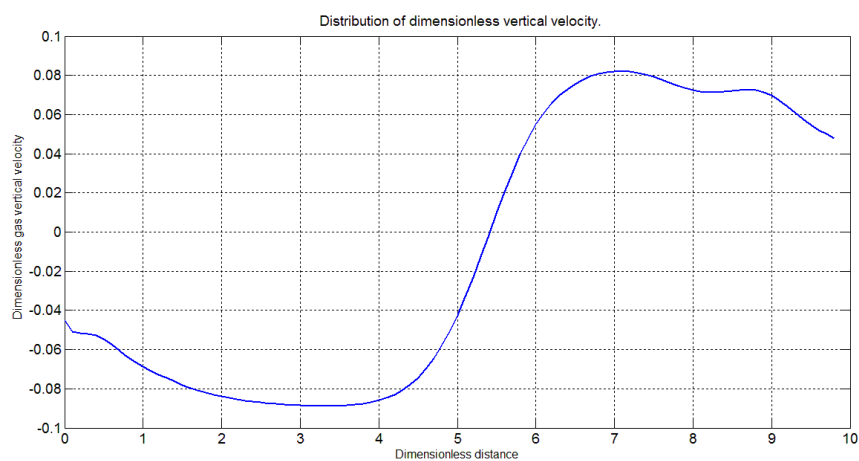


Рис. 5. $M=3$. Распределение безразмерной вертикальной составляющей вектора скорости газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=300$.

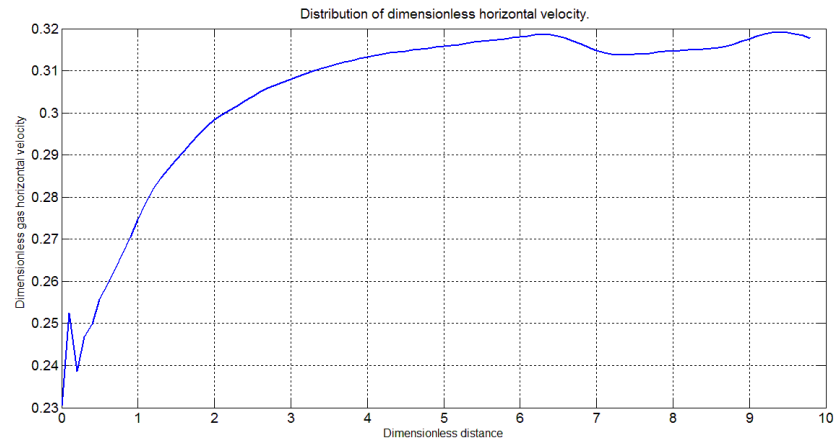


Рис. 6. $M=3$. Распределение безразмерной горизонтальной составляющей вектора скорости газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=3000$.

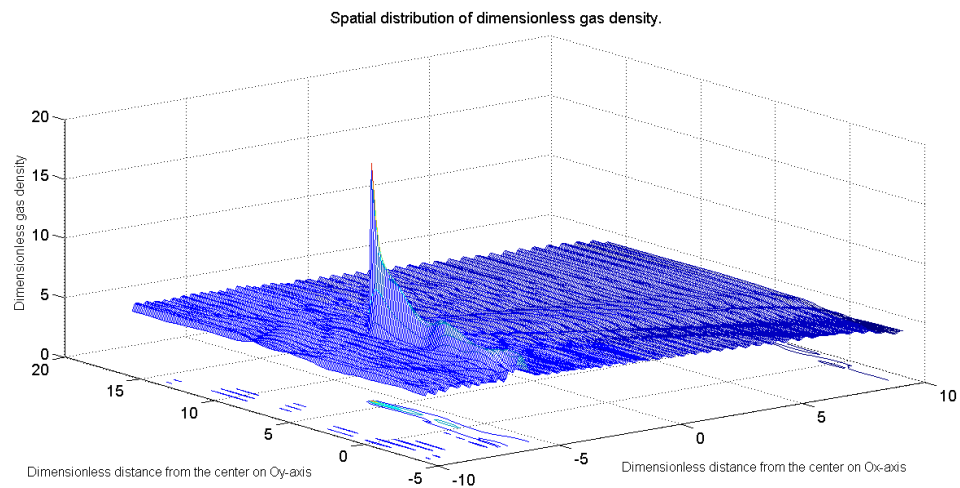


Рис. 7. $M=20$. Распределение безразмерной плотности газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=2500$.

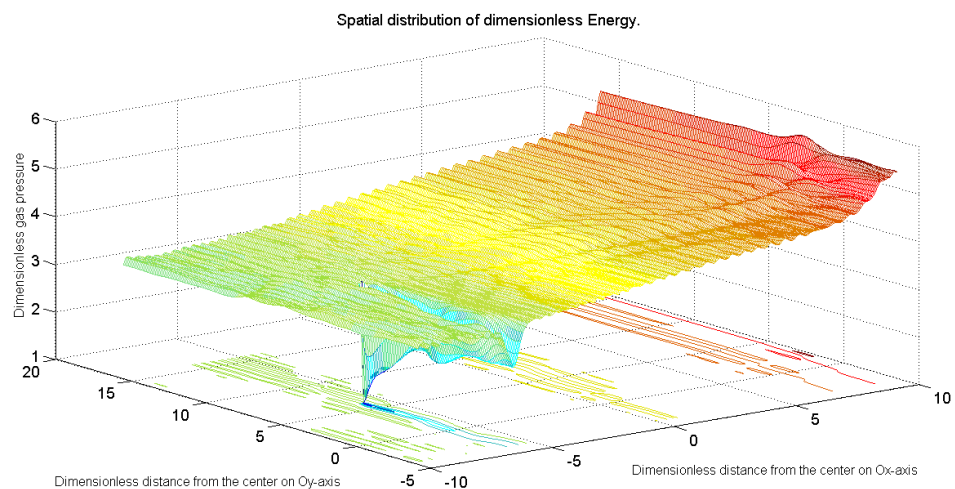


Рис. 8. $M=20$. Распределение безразмерной удельной энергии газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=2500$.

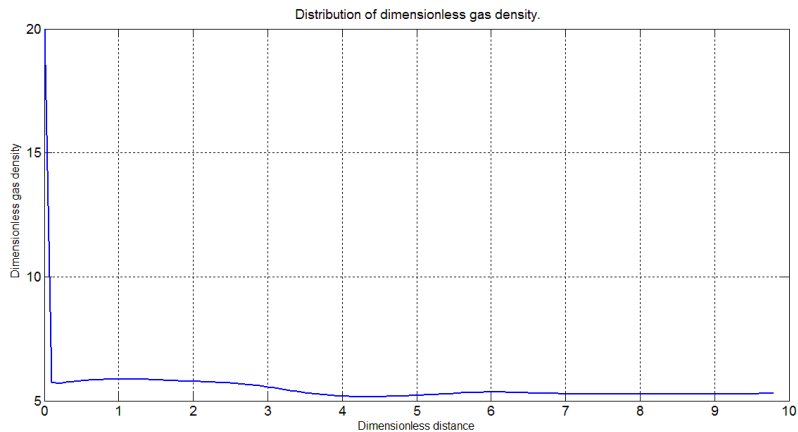


Рис. 9. $M=20$. Профиль безразмерной плотности газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=2500$.

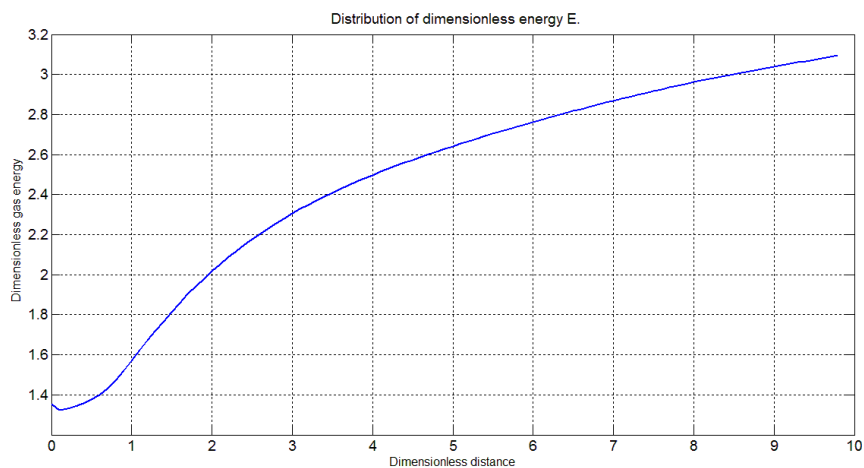


Рис. 10. $M=20$. Профиль безразмерной удельной энергии газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=2500$.

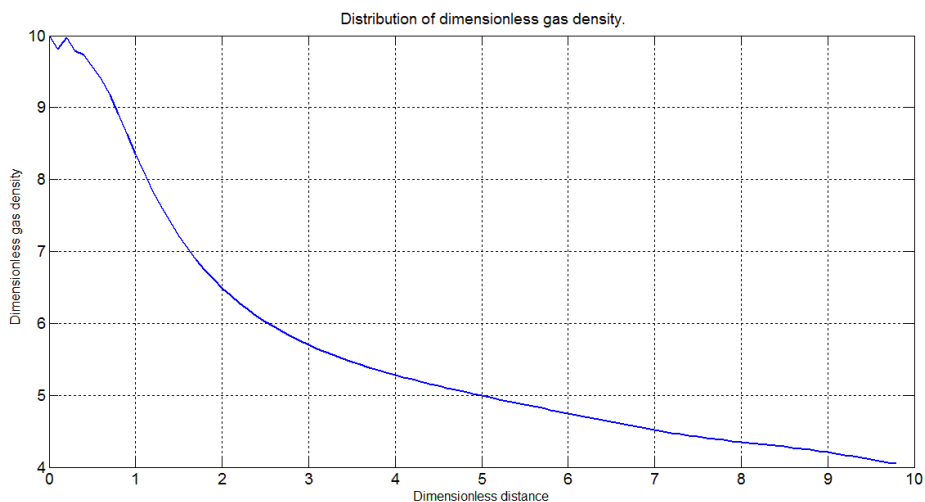


Рис. 11. $M=20$. Профиль безразмерной плотности газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=2500$.

Во второй серии проведенных численных расчетов область интегрирования представляла собой квадрат, разбитый на 201 ячейку по каждой стороне. Ячейка взрыва находится в центре области интегрирования: номер ячейки по горизонтальной оси равен 101 слева направо, по вертикальной оси также 101 ячейка снизу вверх. На всех четырех границах области интегрирования ставились условия свободного вытекания. Коэффициент M в ячейке взрыва варьировался в пределах интервала $[1; 30]$. Безразмерные шаги интегрирования выбраны так: $\widetilde{dx}=0.1$, $\widetilde{dy}=0.1$, $\widetilde{dt}=0.01$.

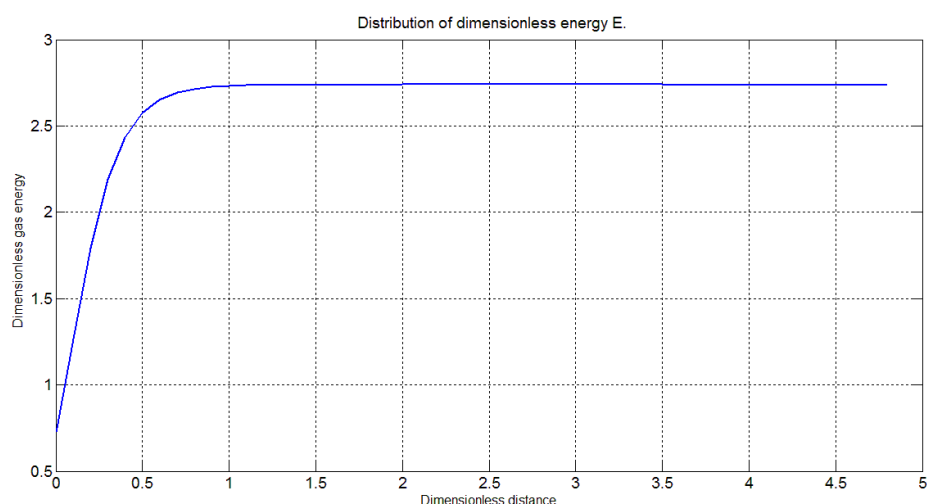


Рис. 12. $M=5$. Профиль безразмерной удельной энергии газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=1000$.

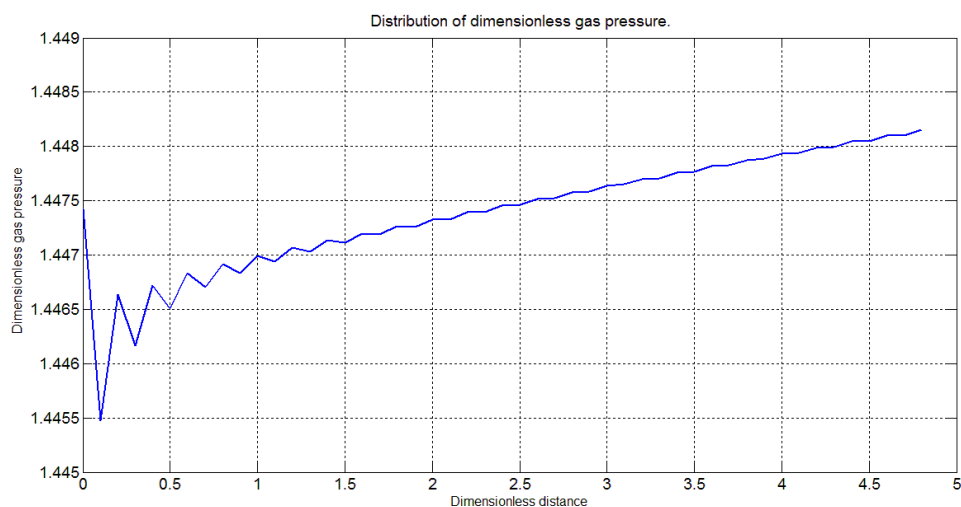


Рис. 12. $M=5$. Профиль безразмерной плотности газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=1000$.

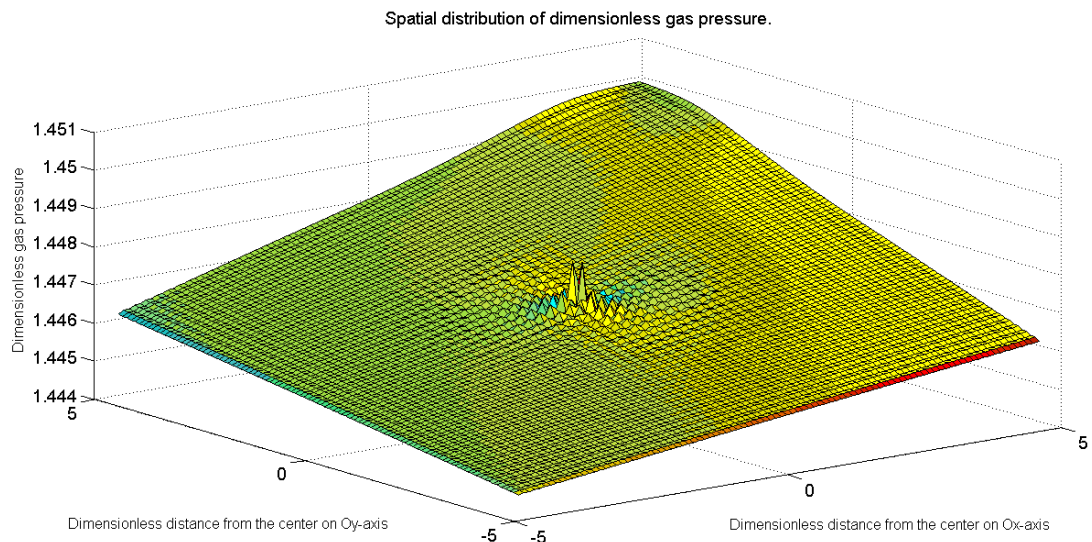


Рис. 13. $M=5$. Распределение безразмерной плотности газа в безразмерный момент времени $\tilde{t}=1000$

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц для задач газовой динамики. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. физ. - мат. наук. – М.: МФТИ, 1970. – 183 с.
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. Давыдов Ю.М., Чечейбаев Б., Давыдова И.М. и др. Исследование актуальных проблем механики и машиностроения. /Под ред. Ю.М. Давыдова, в 5-ти томах. – М.: НАПН РФ, 1995. - 1658 с.
4. Акжолов М.Ж., Мадера А.Г., Сотников А.Н. Численные методы решения задач математической физики на высокопроизводительном вычислительном комплексе МСЦ в режиме удаленного доступа. – М.: Московский гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики, 2005. – 64 с.

ОПТИМИСТИЧЕСКИЙ СЦЕНАРИЙ РАЗВИТИЯ ЗОЛОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Толобекова Б.Т., Кожогулов Б.К., Русакова Н.Л.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, ПИЦ «Кен-Тоо»

В настоящей работе оценка перспектив развития золотодобывающей отрасли проведена по оптимистическому сценарию во временном интервале 2013 – 2052 гг.

Оптимистический сценарий предполагает проведение реформ в данной отрасли, которые обеспечивает повышения доверия инвесторов к нашей стране до среднего уровня в мировых рейтингах, а с ними снижение ставки дисконтирования, возможность отрабатывать месторождения с меньшей нормой прибыли, вовлечение в отработку маргинальных запасов золота, рост инвестиций в поиск и разведку новых месторождений. Оптимистический сценарий призван оценить предельные возможности отрасли, выше которых дальнейшее наращивание маловероятно, а также предусматривает вовлечение в отработку месторождений, требующих дополнительной разведки, но в стоимостной оценке месторождений прогнозные ресурсы принимались как запасы, тем самым увеличивая экономический потенциал инвестиционных проектов.

Объем товарной продукции по золоторудным месторождениям за прогнозируемый период (2013-2052гг) представлен в таблице 1. (Инерционный сценарий развития золотодобывающей отрасли изложен в статье, приведенной в данном сборнике).

Таблица 1.

Производство товарной продукции в стоимостном выражении по золоторудным месторождениям за период 2013-2052гг.

Наименование	Объем товарной продукции в денежном выражении млн.\$	
	Инерционный сценарий	Оптимистический сценарий
Кумтор	7876,13	7876,13
Тоголок		625,87
Джеруй	2818,17	3134,88
Андаш	1130,63	1256,24
Талдыбулак		1110,55
Ширальджин	192,95	214,34
Акташ		585,83
Талдыбулак Левобережный	3173,37	3173,37
Туюк		162,54
Коматор	97,76	111,05
Долпран		427,66
Куранджайляу	67,63	576,45
Насоновское	231,25	262,43
Булакашинское	232,02	773,55
Мироновское	194,26	194,26
Макмал	115,83	115,73
Иштамберды	770,32	770,32
Куру-Тегерек	3772,59	3772,59
Бозымчак	1602,41	1602,41
Террекан	183,47	183,45
Терек	96,61	104,78
Перевальное	262,84	262,84
Тохтазан	265,62	295,06
Ункурташ	1411,76	1568,66
Чаарат	2051,01	2278,93
Кичисандык	1037,61	1037,61
Чалкуйрук-Акджилга		249,15

Гавиан		44,98
Караказык		167,46
Савоярды	189,22	400,49
Ничкесу		97,02
Алтын-Джилга	206,82	229,76
Чакуш	344,52	702,81
Апрельское		49,32
Дуваташ		276,25
Аугул	273,41	985,77
Чонкимиздыкты	513,28	1629,94
Канызак	382,01	1272,93
Солтон-Сары		92,77
Кумбель		57,82
Всего	29493,5	38734,0

Общий объем товарной продукции за весь период отработки месторождений золота по инерционному сценарию составит 29,5млрд. \$, по оптимистическому – 38,7млрд. \$ США.

В инерционном сценарии отработка некоторых месторождений становится нецелесообразной по экономическим показателям (ЧТС имеет отрицательное значение). К ним относятся: Тоголок, Талдыбулак, Акташ, Туюк, Долпран, Чалкуйрюк-Акджилга, Гавиан, Караказык (Левобережное), Ничкесу, Апрельское, Дуваташ, Кумбель.

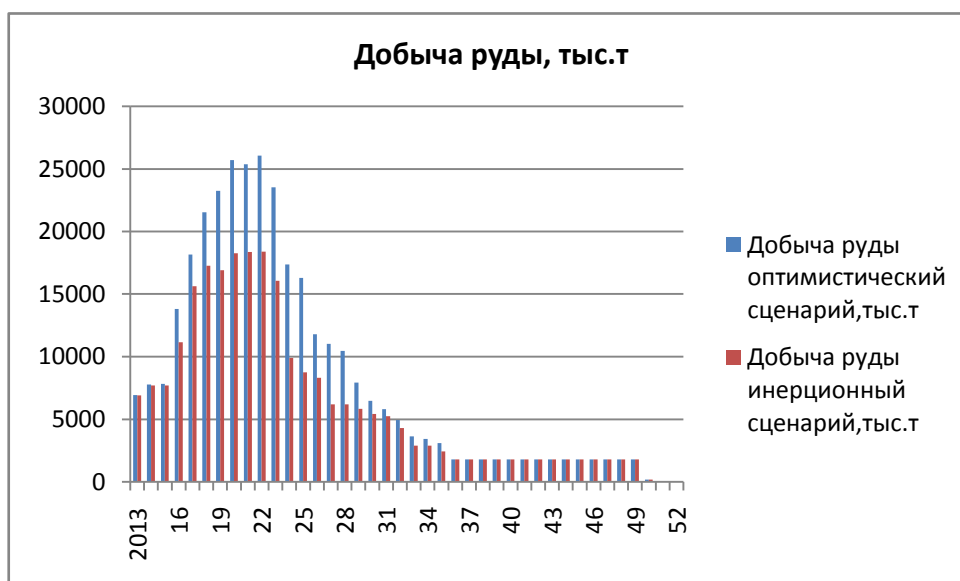


Рис. 1. Динамика добычи руды по двум сценариям.

Как видно из рис.3, темпы роста производства удвоятся после ввода новых производственных мощностей в 2016 году, с последующим наращиванием мощностей и наивысшего пика добыча руды достигнет в 2022г. (25000 тыс. тонн в год по оптимистическому сценарию, 18389 тыс.тонн в год по инерционному сценарию). Затем начнется спад производства в связи с отработкой части месторождений до полного истощения запасов.

Результаты различных сценариев показывают, что добыча руды и соответственно металла при оптимистическом сценарии вырастет более чем на 32%. Увеличение объемов добычи влечет за собой увеличение остальных показателей: Инвестиции –на 44%, Объем промышленной продукции – на 31%, Налоги – на 32,1%, Отчисления в Социальный фонд –на 34,8%, Чистый приток денежных средств – на 18,9% и Чистая текущая стоимость – на 69,75%.

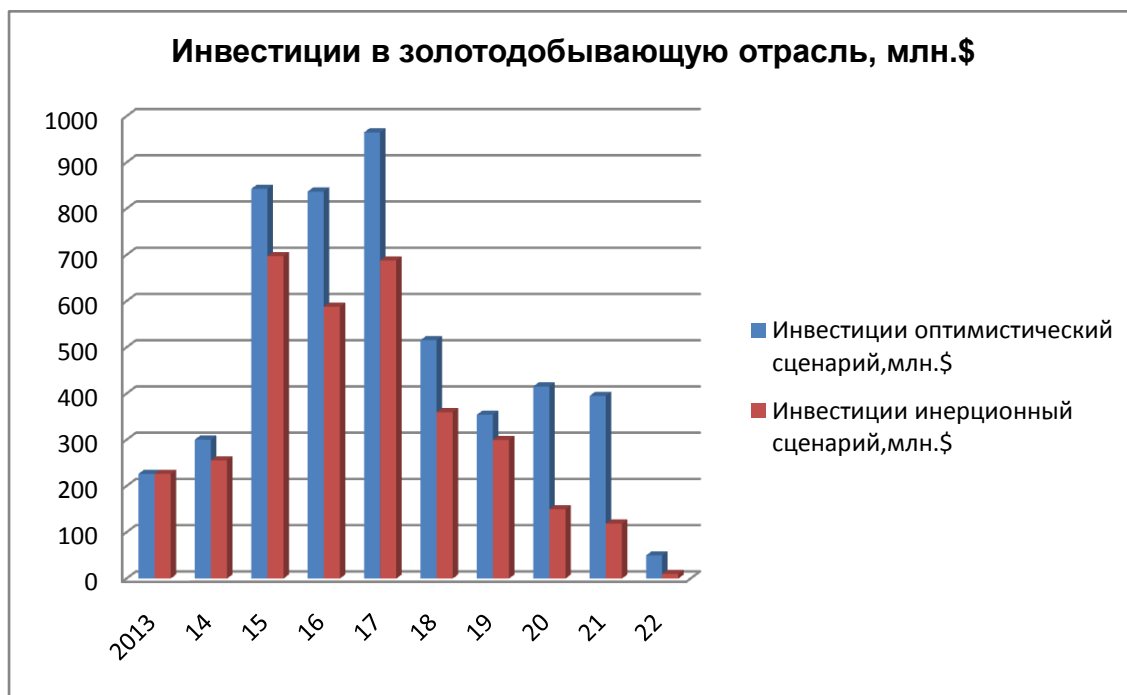


Рис.2. Динамика изменения инвестиций по двум сценариям

Инвестиции являются одним из основных показателей, влияющих на устойчивый экономический рост [1], следовательно, на объем ВВП. Влияние инвестиций рассчитано следующим образом:

CashFlow от золотодобывающей отрасли определен прямыми расчетами по каждому из выше указанных месторождений. Получая доходы в виде оплаты труда или прибыли от деятельности предприятия, люди их тратят на свои нужды и блага, на развитие или расширение бизнеса. Небольшой индуцированный эффект был получен путем расчетов с учетом того, что в кризис люди начинают экономить и занимаются накопительством, а именно на накопление будет уходить две трети доходов, и лишь одна треть будет расходоваться.

Таблица2

CashFlow от освоения золоторудных месторождений
(оптимистический сценарий)

Наименование	млн. \$
Инвестиции	4903,7
Общий денежный поток (CashFlow)	30 574,2
CashFlow с учетом инвестиций в строительство золотодобывающих предприятий	33 614,0
CashFlow с учетом индуцированного эффекта	38 443,9

CashFlow от ввода мощностей и производства продукции золотодобывающей отрасли представлен на рис.3.

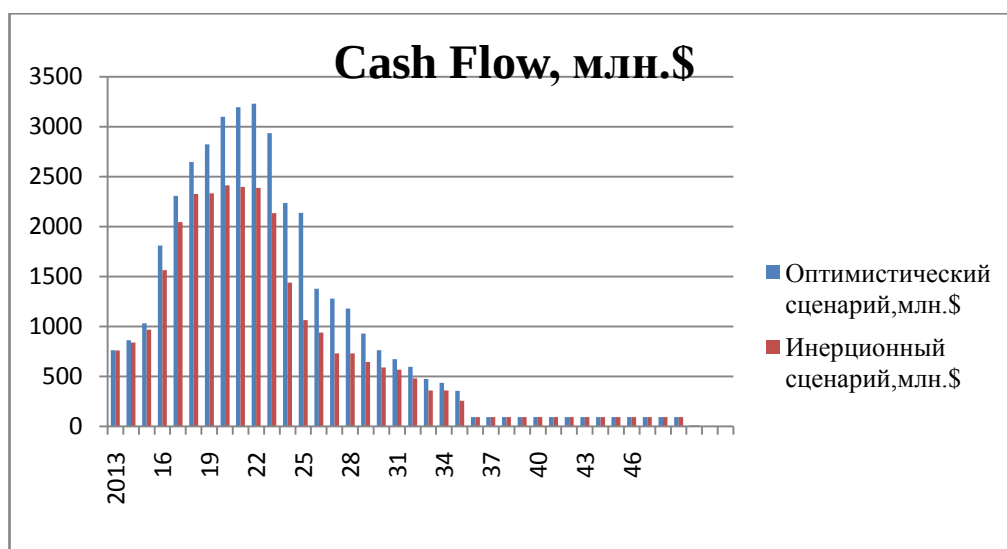


Рис. 3. Динамика изменения CashFlow, производимого золотодобывающей промышленностью по двум сценариям.

Таким образом, анализ оптимистического сценария показывает, во первых, представления о долгосрочных последствиях развития, и во вторых, позволяет понять, какие механизмы и какого масштаба, и структурного наполнения затраты необходимо задействовать, чтобы преодолеть ограничения дальнейшего роста экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия устойчивого развития Кыргызской республики на период 2013 – 2017гг.

ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ГЛУБИНЫ НА РУДНИКАХ КЫРГЫЗСТАНА

Ялымов Р.Н., Абдибаитов Ш.А.

ИГиОН НАН КР

Анализируя проявления горного давления при разных системах разработки можно отметить, что количество обрушений, связанных с общей потерей несущей способности кровли, увеличивается с глубиной как при камерно-столбовой системе, так и при системе с магазинированием руды. Их основной причиной является несоответствие параметров камер и магазинов конкретным горно-геологическим условиям, глубине разработки и напряженному состоянию массива пород /1/.

На рис. 1 приведены графики изменения напряжений в массиве пород с глубиной, из которых следует, что при возрастании глубины от 100 до 500 м напряжения увеличиваются от 100 до 350 кг/см². Общее количество обрушений также увеличивается с глубиной разработки, что подтверждается корреляционным анализом.

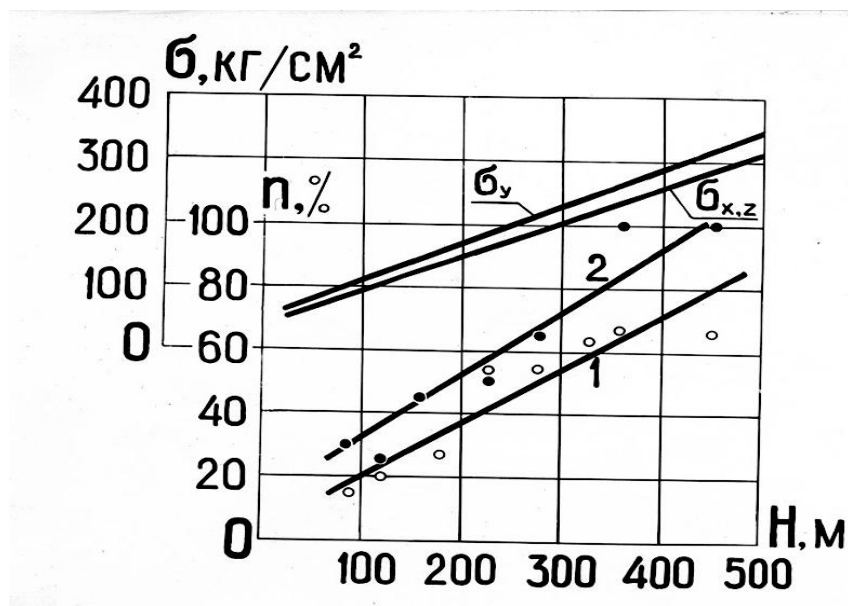


Рис. 1. Увеличение общего количества обрушений с ростом глубины разработки и напряженного состояния массива: 1 – при камерно-столбовой системе; 2 – при системе с магазинированием руды.

Проявления горного давления приводит также к ухудшению качества добываемой руды. Разубоживание от локальных обрушений не зависит от глубины и составляет в среднем по системам 0,25 %. Разубоживание от преждевременных разрушений поддерживающих конструкций изменяется с глубиной разработки. При увеличении глубины до 450 м разубоживание при камерно-столбовой системе возрастает до 4,5 %, а при системе с магазинированием руды до 10 %.

Аналогичные результаты были получены и на других рудниках. Как известно, одним из основных факторов, влияющих на устойчивость подземных обнажений, является глубина залегания. Для установления влияния глубины разработки на устойчивость подземных обнажений на руднике Улуу-Тоо в течении ряда лет проводились визуальные наблюдения за состоянием действующих и отработанных камер и изучалась геолого-маркшейдерская документация/2/. Всего на месторождении было обследовано более 70 камер со сроком существования от нескольких месяцев до 15 лет.

Выполненные исследования свидетельствуют о том, что на верхних горизонтах месторождения массовых обрушений пород кровли камер или висячего бока не было. Имели место локальные вывалы в камерах с породами кровли, представленными глинистыми и углистыми сланцами, серпентинитами, нарушенными листовитами. Всего на верхних горизонтах (глубина до 200 м) зафиксировано 50 случаев обрушений кровли камер и висячего бока.

В 35 случаях объемы обрушенной породы не превышали 50 м^3 , и в 15 – объемы обрушений были более 50 м^3 , достигая в отдельных случаях 1000 м^3 и более. Количество обрушений по рудоносным зонам распределяется следующим образом:

Таблица 1.

Место обрушения	Местные вывалы V до 50 м^3	Крупные обрушения $V > 50 \text{ м}^3$	Всего обрушений
Северная зона	19	5	24
1-я Южная зона	10	10	20
2-я Южная зона	6	-	6

Камеры, в которых наблюдались обрушения пород кровли и висячего бока, составляют 79 % от общего количества обследованных камер. В подавляющем большинстве обрушения носили характер местных вывалов (более 70 %) и происходили в виде постепенного отслоения, чаще всего плитами или отдельными глыбами в местах тектонических нарушений. Объемы обрушенной породы при локальных вывалах колеблются в пределах 10 м^3 изредка достигая $40\text{-}50 \text{ м}^3$. Следует отметить, что кровля многих камер в течении 10-15 лет после отработки находится в устойчивом состоянии, хотя некоторые из них имеют значительные площади обнажения.

Объем обрушений в большинстве камер незначителен и в 42 камерах (84 % от числа всех камер, в которых зафиксировано

обрушение) составляет менее 10 % объема камеры. Лишь в двух камерах залегающих на глубине 150-160 м, обрушенные сланцы и серпентиниты почти полностью заполнили камеры. Время, прошедшее после отработки камер в которых были зафиксированы обрушения различно: от одного года до 13-15 лет.

Объемы локальных обрушений с увеличением глубины остаются почти неизменными.

Во всех камерах обрушения происходили во время их отработки и носили характер местных вывалов отдельных глыб. Вывалы происходили в основном после буровзрывных работ по тектоническим трещинам.

Анализ фактических данных по состоянию кровли камер и висячего бока показывает, что с понижением глубины горных работ на руднике, число обрушений увеличивается.

Если рассматривать устойчивость камер отдельно по рудоносным зонам, то можно отметить, что в Северной зоне из 31 обследованной камеры в 24 были зафиксированы обрушения, что в процентах это составляет 77,4 %. Причем, с увеличением глубины разработки число обрушений возрастает, а на глубине от 150 до 200 м, количество обрушений составляет почти половину всех обрушений в зоне от их общего числа (45,16 %).

В 1-й Южной зоне отмечено 20 обрушений из 26 осматриваемых камер, т. е. 76,9 %. Здесь обрушения по глубинам происходят примерно равномерно. С другой стороны на глубине от 100 до 200 м обрушения происходили во всех отрабатываемых в зоне камерах.

Во всех, из 6 рассматриваемых во 2-й Южной зоне камерах были отмечены обрушения. Все они носили локальный характер и происходили в виде редких вывалов небольших глыб.

Наибольшее число обрушений приходится на Северную зону – 48 % от общего количества обрушений на руднике: на 1-ю Южную зону приходится 40 % и на 2-ю Южную зону 12 %.

С увеличением глубины разработки число обрушений в рудоносных зонах заметно увеличивается. Уменьшение обрушений с глубиной в 1-й Южной зоне объясняется тем, что на глубине 150-200 м число отрабатываемых камер в зоне резко сократилось. Но с другой стороны, во всех этих камерах были отмечены обрушения, т. е. С глубиной разработки процент обрушений в зоне в действительности резко возрос и составляет практически 100 %.

Таким образом, на основе проведенного анализа и статистической обработки имеющихся данных по руднику Улуу-Тоо установлено, что с понижением глубины ведения горных работ возрастает число обрушений как по руднику в целом, так и по рудоносным зонам в отдельности, т. е. устойчивость выработок понижается. Это необходимо учитывать при выборе системы разработки, определении их конструктивных параметров и решении других горнотехнических задач.

На основе проведенных исследований на рудниках Кадамжай и Улуу-Тоо выявлено, что применение различных вариантов сплошной и камерно-столбовой систем разработки на рудниках Киргизии показывает, что параметры очистных камер на разных глубинах примерно одинаковы. На верхних горизонтах размеры камер даже в слабых породах типа сланцев уменьшены. На нижних горизонтах принятые параметры обнажений не всегда обеспечивают устойчивое состояние последних /3/.

Обрушения кровли камер на рудниках Кыргызстана начались на глубине 150 м однако, на этих глубинах количество камер, в которых произошли обрушения составляло 13-30 %, с углублением горных

работ под основания гор до 250-350 м число камер, в которых произошли обрушения, увеличилось до 55-70 %.

Наибольшее количество разрушений целиков зафиксировано на Кадамжайской руднике. С глубин 300-400 м разрушение опорных целиков на рудниках при сплошной и камерно-столбовой системах разработки стало систематическим явлением /4/. Кроме того, на глубине 450 м разубоживание руды только от обрушений пород при камерно-столбовой системе возрастает на 4-5 %, а при системе с магазинированием руды на 10 %.

На этих же глубинах происходит разрушение межкамерных и околострековых целиков при системах с магазинированием руды. Количество и объемы обрушений при системе с магазинированием руды больше чем при камерно-столбовой. Это вызвано тем, что массив пород на месторождениях Киргизии характеризуется повышенным напряженным состоянием, причем горизонтальные напряжения выше вертикальных, что отрицательно влияет на устойчивость висячего бока при крутом падении залежи. Кроме того, параметры магазинов на рудниках больше, чем камер и, соответственно, в большей степени не соответствует повышенному напряженному состоянию массива.

Запас прочности всех поддерживающих конструкций с увеличением глубины горных работ уменьшается. Запасы прочности целиков при расположении камер в верхней части гор завышены и составляют от 8-10 до 30 и более. С опусканием горных работ ниже подошвы гор и долин запасы прочности целиков продолжают уменьшаться и встречаются первые случаи разрушения целиков.

Наибольшую опасность для людей и оборудования представляют обрушения, происходящие во время отработки камер. Общий объем обрушений и их количество на рудниках, происходящих

во время отработки, имеет явную тенденцию к увеличению с ростом глубины горных работ.

Таким образом, проявления горного давления в процессе отработки камер повышает опасность горных работ и ухудшает показатели извлечения руды.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Т. Айтматов, К.Ч. Кожогулов, Н.Г. Ялымов, Р.Н. Ялымов «Проявления горного давления при подземной разработке рудных месторождений в горноскладчатых областях». Проблемы геотехнологии и недроведения. Екатеринбург. 1998.

2. Ялымов Р.Н. «Условия формирования опасных проявлений горного давления на подземных рудниках». Труды ИГД им. Д.А. Кунаева, г. Алматы, 2006.

3. Н.Г. Ялымов, Р.Н. Ялымов. Управление горным давлением на подземных рудниках Кыргызстана. Горный журнал № 10, 2003, г. Москва.

4. Ш.А. Абдибаитов , Р.Н. Ялымов «Разубоживание руды на рудниках Хайдарканского месторождения методика его определения». Сб. трудов Международной конф. «Проблемы геомеханики и освоения недр». Сб. Современные проблемы механики сплошных сред. Выпуск 15.–Бишкек, 2012. –С.137-143

О БАЗАХ И ПРЕДБАЗАХ ОТОБРАЖЕНИЙ

Ишмахаметов К.

КРСУ им. Б.Ельцина

Все встречающиеся в работе пространства предполагаются топологическими, а отображения непрерывными.

Определение 1. [1] Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система N подмножеств пространства X называется сетью (соответственно π -сетью) отображения f , если для любой точки $x \in X$ и любой ее окрестности U_x найдутся такое открытое в Y множество O и такое множество $V \in N$, что А) $x \in V \cap f^{-1}O \subset U_x$ (соответственно В) $V \cap f^{-1}O \subset U_x$).

Замечание 1. В случае А) каждое множество O содержит точку fx , т.е. является ее окрестностью, а в случае В) может и не содержать точку fx . Если же в этом случае С) каждое множество O будет содержать точку fx , то система N будет называться сильной π -сетью.

Сеть, π -сеть, сильная π -сеть отображения f , состоящая из открытых в X множеств, соответственно называется базой [1], π -базой, [1], сильной π -базой отображения f .

Определение 2. Для отображения $f: (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$ топология τ_f (в общем случае $\tau_f \subsetneq \tau$) пространства X называется, соответственно, квазibaseй, π -квазibaseй, сильной π -квазibaseй [А. А. Борубаев] отображения f , если для любой точки $x \in X$ и любой ее окрестности

U_x найдутся такое открытое в Y множество O и такое множество $V \in N$, что соответственно выполняются условия А), В) и С).

Если $\tau_f \subseteq \tau$, что квазибаза, π -квазибаза, сильная π -квазибаза отображения f , называется, соответственно, базой [1], π -базой [1] и сильной π -базой отображения f .

Имеет место следующий критерий сети (π -сети) отображения f .

Теорема 1. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система N подмножеств пространства X является сетью (соответственно π -сетью), тогда и только тогда, когда для любого открытого в X множества U существуют подсистема $N' \subset N$ и система O открытых в Y множеств такие, что $\cup(N' \cap f^{-1}O) = U$ (соответственно $\cup(N' \cap f^{-1}O) \subset U$), где $N' \cap f^{-1}O = \{n' \cap f^{-1}O' : n' \in N', O' \in O\}$.

Доказательство теоремы 1 в статье «Отображения со второй аксиомой счетности» в этом же сборнике.

Следствие 1. Если система N состоит из открытых подмножеств, то в результате получается критерий базы (π -базы) отображения $f: X \rightarrow Y$.

Теперь определение 1 можно переформулировать следующим образом:

Определение 1'. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система N (открытых) подмножеств пространства X , называется соответственно, сетью, π -сетью (базой, π -базой), если для любого открытого в X множества U существуют подсистема $N' \subset N$ и система O открытых в Y множеств такие, что $\cup(N' \cap f^{-1}O) = U$, $\cup(N' \cap f^{-1}O) \subset U$.

Заметим, что все касающееся к π -сети верно и для сильной π -сети, и, это обстоятельство повторять не будем.

Определение 3. Для отображения $f: X \rightarrow Y$, систему P подмножеств пространства X назовем предсетью (соответственно π -предсетью) отображения f , если для всякой точки $x \in X$ и всякой ее

окрестности U_x существуют такой конечный набор $\{V_1, V_2, \dots, V_n\} \subset P$ и такое открытое в Y множество O , что $x \in \bigcap_{i=1}^n V_i \cap f^{-1}O \subset U_x$ (соответственно $\bigcap_{i=1}^n V_i \cap f^{-1}O \subset U_x$).

Предсеть (π -предсеть) отображения f , состоящая из открытых в X множеств, называется предбазой [1] (π -предбазой) отображения f .

Теорема 2. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система P подмножеств пространства X является предсетью (соответственно π -предсетью) тогда и только тогда, когда всевозможные конечные пересечения элементов P образуют сеть (π -сеть) отображения f .

Доказательство. Пусть P предсеть (π -предсеть) отображения f . Тогда для любой точки $x \in X$ и любой ее окрестности U_x существуют такой конечный набор $\{V_1^x, V_2^x, \dots, V_n^x\} \subset P$ и такое открытое в Y множество O_x , что $x \in \bigcap_{i=1}^n V_i^x \cap f^{-1}O_x \subset U_x$ (соответственно $\bigcap_{i=1}^n V_i^x \cap f^{-1}O_x \subset U_x$). Таким образом, система $\{\bigcap_{i=1}^n V_i^x : x \in X\}$ образует сеть (π -сеть) отображения f .

Обратно, пусть всевозможные конечные пересечения элементов $V_1, V_2, \dots, V_n \in P$ образуют сеть (π -сеть) отображения f . Тогда для любой точки $x \in X$ и любой ее окрестности U_x существуют такая конечная подсистема $\{V_1^x, V_2^x, \dots, V_n^x\} \subset P$ и такое открытое в Y множество O_x , что $x \in \bigcap_{i=1}^n V_i^x \cap f^{-1}O_x \subset U_x$ (соответственно $\bigcap_{i=1}^n V_i^x \cap f^{-1}O_x \subset U_x$). Отсюда следует, что система P есть предсеть (π -предсеть) отображения f . Теорема доказана.

Следствие 2. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система P открытых подмножеств пространства X является предбазой (соответственно π -предбазой) тогда и только тогда, когда всевозможные конечные пересечения элементов P образуют базу (π -базу) отображения f .

Определение 4. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система $\gamma(x)$ (открытых) подмножеств пространства X называется, соответственно (базой, π -базой, сильной π -базой), сетью, π -сетью, сильной π -сетью отображения f в точке $x \in X$, если для каждой окрестности этой точки U_x существуют открытое в Y множество O и такое множество $G \in \gamma(x)$, что выполняется, соответственно, условия А), В) и С) определения 1 и замечания 1.

Следующие предложения доказываются аналогично предыдущим утверждениям.

Предложение 1. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система $\gamma(x)$ подмножеств пространства X является сетью (π -сетью) отображения f в точке $x \in X$ тогда и только тогда, когда для любой окрестности U_x точки x существуют подсистема $\gamma'(x) \subset \gamma(x)$ и система O открытых в Y множеств такие, что $\bigcup(\gamma'(x) \cap f^{-1}O) = U_x$ ($\bigcup(\gamma'(x) \cap f^{-1}O) \subset U_x$), где $\gamma'(x) \cap f^{-1}O = \{G' \cap f^{-1}O' : G' \in \gamma'(x), O' \in O\}$.

Определение 5. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система $P(x)$ подмножеств пространства X называется предсетью (π -предсетью) отображения f в точке $x \in X$, если для всякой ее окрестности U_x существуют такой конечный набор $\{G_1, G_2, \dots, G_n\} \subset P_x$ и такое открытое в Y множество O , что $x \in \bigcap_{i=1}^n G_i \cap f^{-1}O \subset U_x$ ($\bigcap_{i=1}^n G_i \cap f^{-1}O \subset U_x$).

Предложение 2. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система $P(x)$ подмножеств пространства X является предсетью (π -предсетью) отображения f в точке $x \in X$ тогда и только тогда, когда всевозможные конечные пересечения элементов $P(x)$ образуют сеть (π -сеть) отображения f в точке x .

Определение 6. Сеть (π -сеть), предсеть (π -предсеть) отображения f в точке $x \in X$ состоящие из открытых в X множеств называются базой (π -базой), предбазой (π -предбазой) отображения f в точке x

Следствие 3. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система $\gamma(x)$ открытых подмножеств пространства X является базой (π -базой) в точке x тогда и только тогда, когда для любой окрестности U_x точки $x \in X$ существуют подсистема $\gamma'(x) \subset \gamma(x)$ и система O открытых в Y множеств такие, что $\bigcup(\gamma'(x) \cap f^{-1}O) = U_x$ ($\bigcup(\gamma'(x) \cap f^{-1}O) \subset U_x$).

Следствие 4. Для отображения $f: X \rightarrow Y$ система $P(x)$ открытых подмножеств пространства X является предбазой (π -предбазой) отображения f в точке $x \in X$ тогда и только тогда, когда всевозможные конечные пересечения элементов $P(x)$ образуют базу (π -базу) отображения f в точке x .

Стандартным образом доказывается следующее утверждение.

Предложение 3. Если B – база (π -база) отображения $f: X \rightarrow Y$, то семейство $B(x)$, состоящее из всех элементов B , содержащих точку x , есть база (π -база) $B(x)$ отображения f в этой точке, то объединение $B = \bigcup_{x \in X} B(x)$ есть база (π -база) отображения f .

Заметим, что предложение 3 верно и для сети (π -сети) отображения f .

Определение 7. Наименьшее из кардинальных чисел, являющихся мощностями сетей (π -сетей) отображения $f: X \rightarrow Y$, называется α -весом (π - α -весом) отображения f и обозначаются через $\alpha(f)$ ($\pi\alpha(f)$).

Если сеть (π -сеть) отображения f состоит из открытых множеств, то получим вес [1] (π -вес) отображения f обозначаемое через $\omega(f)$ [1] ($\pi\omega(f)$).

Далее рассуждения будем вести для баз отображения f и для баз отображения f в точке x , однако они имеют силу и для других понятий, рассмотренных выше.

Определение 8. Характером точки $x \in X$ отображения $f: X \rightarrow Y$ называется наименьшее кардинальное число вида $|B(x)|$, где $B(x)$ база отображения f в точке x .

Это кардинальное число обозначается $\chi_x(f)$.

Определение 9. Характером отображения $f: X \rightarrow Y$ называется точная верхняя грань всех кардинальных чисел $\chi_x(f)$ для $x \in X$. Это кардинальное число обозначается $\chi(f)$.

Определение 10. Если $\chi(f) \leq \aleph_0$, то говорят, что отображение f удовлетворяет первой аксиоме счетности (или отображение f есть отображение с первой аксиомой счетности или отображение с точечной счетной базой). Это означает, что в каждой точке $x \in X$ существует счетная база отображения f .

Если $\omega(f) \leq \aleph_0$, то говорят, что отображение $f: X \rightarrow Y$ удовлетворяет второй аксиоме счетности (или отображение f есть отображение со второй аксиомой счетности). Это означает, что отображение f имеет счетную базу.

Предложение 4. Если отображение $f: X \rightarrow Y$ удовлетворяет второй аксиоме счетности, то оно и по-прежнему удовлетворяет первой аксиоме счетности.

Доказательство. Пусть B - счетная база отображения f . Тогда $B(x)$, состоящая из всех тех множеств этой базы, которые содержат точку x , очевидно, образует счетную базу в точке x .

Предложение 5. Если $f: X \rightarrow Y$ отображение, а $g: X_0 \rightarrow Y$, где $X_0 \subseteq X$, любое его подотображение, то $\omega(g) \leq \omega(f)$ и $\chi_x(g) \leq \chi_x(f)$ для любой точки $x \in X$.

Отсюда, в частности, следует, что как первая, так и вторая аксиомы счетности выражают наследственные свойства отображения.

Теорема 3. Если вес отображения $f: X \rightarrow Y$ равен τ , то всякая база B отображения f содержит подмножество B' мощности τ , также являющееся базой отображения f .

Доказательство. Пусть B_0 база отображения f имеющая мощность $\tau = \omega(f)$. Обозначим через U элемент базы B_0 . Пусть B - произвольная база отображения f . Нам нужно выделить из базы B базу $B' \subseteq B$, имеющую мощность τ .

Назовем какую-нибудь пару (U_α, U_β) элементов базы B_0 отмеченной, если существует хотя бы одно $V \in B$ удовлетворяющее

$$\text{условию } U_\alpha \cap f^{-1}O_\alpha \subseteq V \cap f^{-1}O_V \subseteq U_\beta \cap f^{-1}O_\beta, \quad (1)$$

где O_α, O_V, O_β - некоторые открытые в Y множества.

Ясно, что множество всех отмеченных пар имеет мощность не большую, чем мощность всех вообще пар базы B_0 , т.е. мощность $\leq \tau$ ($\tau \times \tau = \tau$).

Для каждой отмеченной пары (U_α, U_β) выберем по одному элементу $V \in B$, удовлетворяющему условию (1). Множество B' отмеченных таким образом элементов V базы B также имеет мощность $\leq \tau$. Поэтому остается показать, что множество B' есть база отображения f .

Итак, пусть даны точка $x \in X$ и ее окрестность U_x . Требуется найти такой элемент $V' \in B'$ и такое открытое в Y множество $O_{V'}$, что

$$x \in V' \cap f^{-1}O_{V'} \subset U_x \quad (2).$$

Так как B_0 - база отображения f , то существует такое $U_\beta \in B_0$ и открытое в Y множество O_β , что $x \in U_\beta \cap f^{-1}O_\beta \subset U_x$.

Но базой является и B , поэтому существуют $V \in B$ и такое открытое в Y множество O_V , что $x \in V \cap f^{-1}O_V \subseteq U_\beta \cap f^{-1}O_\beta$.

Наконец, можно найти такое $U_\alpha \in B_o$ и такое открытое в Y множество O_α , что $x \in U_\alpha \cap f^{-1}O_\alpha \subset V \cap f^{-1}O_V$.

Отсюда следует, что пара (U_α, U_β) отмеченная; поэтому существует $V' \in B'$ и такое открытое в Y множество $O_{V'}$, что $U_\alpha \cap f^{-1}O_\alpha \subset V' \cap f^{-1}O_{V'} \subset U_\beta \cap f^{-1}O_\beta$ и тем более условию (2). Теорема доказана.

Когда пространство $Y = \{y\}$ - одноточечное, из теоремы 3 следует важная теорема Александрова- Урысона, касающаяся баз и веса пространства X [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Пасынков. О распространении на отображения некоторых понятий и утверждений, касающихся пространств. Отображения и функторы. Сборник. Москва, Изд-во МГУ, 1984.
2. П. С. Александров, Б. А. Пасынков. Введение в теорию размерности. Изд. «Наука», Москва, 1973.

УПРАВЛЕНИЕ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ В ДИСКРЕТНОЙ ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аширбаев Б.Ы., Осмонканов А.М., Тюменбаева А.Н.

КГТУ им. И.Раззакова, КГУСТА им Н.Исанова,
Бишкекский колледж компьютерных технологий.

В статье изложен способ разделения движений дискретной стационарной управляемой системы с малым шагом. Эквивалентная система, полученная при полном разделении переменных состояния, обладает всеми свойствами исходной системы. Она состоит двух подсистем меньшего порядка, решение которых находится независимо, причем они связаны только управляющей функцией.

На основе методов разделения движений и момента построен алгоритм решений дискретной задачи оптимального управления.

Пусть управляемый процесс описывается разностным уравнением

$$y(k+1) = Ay(k) + Bu(k) \quad (1)$$

с начальным условием

$$y(0) = y_0, \quad (2)$$

где $y = \begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix}$, $A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix}$, $A_i (i = \overline{1,4}) - (n \times n)$, $B_1, B_2 - (n \times r)$ – постоянные матрицы, $u = u(k) - r$ – мерный вектор управления, $k = 0, 1, \dots, M$.

Требуется найти управление $u=u(k)$ такое, чтобы соответствующее ему решение задачи (1), (2) удовлетворяло условию

$$y(M) = y_M, \quad (3)$$

где y_M – произвольно выбранный вектор фазового пространства E^n , чтобы при этом функционал

$$J = \sum_{k=0}^{M-1} u'(k)u(k) \quad (4)$$

достигал своего наименьшего возможного значения.

Так как функционал (4) оценивает энергии, затрачиваемой в процессе управления [1], задачу (1)–(4) можно рассмотреть как задачи об управлении с минимальной энергией.

Предположим, что [2]:

I. Матрицы $A_i (i = \overline{1, 4})$ являются матрицами простой структуры они не имеют нулевого собственного значения $\lambda_i (i = \overline{1, n})$.

II. Все собственные значения $\lambda_i (i = \overline{1, n})$ матрицы $A_i (i = \overline{1, 4})$ удовлетворяют условию $|\lambda_i| < q_0 < 1$.

Прежде чем приступить к нахождению оптимального решения задачи, рассмотрим задачу разделения движений дискретной стационарной управляемой системы (1).

При предположениях I и II введем замену [3]

$$x = \tilde{x} - N\tilde{z}, \quad (5)$$

$$z = \tilde{z} + Hx \quad (6)$$

и соотношения (5), (6) записываем в следующей матричной форме:

$$\begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_n & -N \\ H & E_n - HN \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{z} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_n - NH & N \\ -H & E_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix}. \quad (8)$$

С учетом соотношений (7) уравнение (1) имеет вид

$$\begin{pmatrix} E_n & -N \\ H & E_n - HN \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x}(k+1) \\ \tilde{z}(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_n & -N \\ H & E_n - HN \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix} u.$$

Последнего уравнения умножая слева на матрицу

$$\begin{pmatrix} E_n & -N \\ H & E_n - HN \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} E_n - NH & N \\ -H & E_n \end{pmatrix}$$

получим

$$\begin{aligned}
\begin{pmatrix} \tilde{x}(k+1) \\ \tilde{z}(k+1) \end{pmatrix} = & \begin{pmatrix} A_1 + A_2H + N(-HA_1 + A_3 - HA_2H - A_4H) \\ -HA_1 + A_3 - HA_2H + A_4H \end{pmatrix} \\
& - (A_1 + A_2H)N + N(A_4 - HA_2) + A_2 + N(-HA_1 + A_3 - HA_2H + A_4H) \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{z} \end{pmatrix} + \\
& + \begin{pmatrix} E_n - NH & N \\ -H & E_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix} u.
\end{aligned} \tag{9}$$

При выполнении условия II матрицы H и N удовлетворяют следующим матричным уравнениям Риккати и Ляпунова соответственно:

$$-HA_1 + A_4H - HA_2H + A_3 = 0, \tag{10}$$

$$-\tilde{A}_1N + N\tilde{A}_4 + A_2 = 0. \tag{11}$$

Доказательство существования и единственности решения уравнения (10), (11) можно найти в [4].

С учетом (10), (11) уравнение (9) можно записать в виде

$$\begin{pmatrix} \tilde{x}(k+1) \\ \tilde{z}(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{A}_1 & 0 \\ 0 & \tilde{A}_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tilde{B}_1 \\ \tilde{B}_2 \end{pmatrix} u, \tag{12}$$

где

$$\tilde{A}_1 = A_1 + A_2H, \quad \tilde{A}_4 = A_4 - HA_2, \quad \tilde{B}_1 = B_1 + N\tilde{B}_2, \quad \tilde{B}_2 = -HB_1 + B_2. \tag{13}$$

В результате имеем утверждения в виде следующей теоремы

ТЕОРЕМА 1. Пусть выполняются условия I, II и матрицы H , N удовлетворяют уравнениям (10) и (11). Тогда систему (1) можно разделить на две подсистемы меньшего порядка вида:

$$\tilde{x}(k+1) = \tilde{A}_1\tilde{x}(k) + \tilde{B}_1u(k), \tag{14}$$

$$\tilde{z}(k+1) = \tilde{A}_4\tilde{z}(k) + \tilde{B}_2u(k), \tag{15}$$

причем эти уравнения связаны только по управлению $u(t)$.

Теперь рассмотрим задачу «управления с минимальной энергией» с уравнениями (14), (15) и граничными условиями:

$$\tilde{x}(0) = \tilde{x}_0, \quad \tilde{z}(0) = \tilde{z}_0, \tag{16}$$

$$\tilde{x}(M) = \tilde{x}_M, \quad \tilde{z}(M) = \tilde{z}_M, \tag{17}$$

где $\tilde{x}_0 = x_0 + N\tilde{z}_0$, $\tilde{z}_0 = z_0 - Hx_0$, $\tilde{x}_M = x_M + N\tilde{z}_M$, $\tilde{z}_M = z_M - Hx_M$.

Качества процесса задачи (14) – (17) оценивается функционалом (4).

Решения уравнения (14), (15) с начальными условиями (16) можно представить в виде:

$$\tilde{x}(k) = \tilde{A}_1^k \tilde{x}_0 + \sum_{i=0}^{k-1} \tilde{A}_1^{k-i-1} \tilde{B}_1 u(i), \quad (18)$$

$$\tilde{z}(k) = \tilde{A}_4^k \tilde{z}_0 + \sum_{i=0}^{k-1} \tilde{A}_4^{k-i-1} \tilde{B}_2 u(i). \quad (19)$$

Из условия (17) следует, что искомое управление должно удовлетворять соотношениям:

$$\sum_{i=0}^{k-1} \tilde{A}_1^{M-i-1} \tilde{B}_1 u(i) = \alpha_M^1, \quad (20)$$

$$\sum_{i=0}^{k-1} \tilde{A}_4^{M-i-1} \tilde{B}_2 u(i) = \alpha_M^2,$$

$$\text{где } \alpha_M^1 = \tilde{x}_M - \tilde{A}_1^M \tilde{x}_0, \alpha_M^2 = \tilde{z}_M - \tilde{A}_4^M \tilde{z}_0.$$

Управление $u^* = u^*(k)$ удовлетворяющее соотношениям (20) и доставляющие минимум функционалу (4), может быть представлено в виде [5]

$$u^*(i) = \tilde{B}_1' (\tilde{A}_1^{M-i-1})' \cdot C_1 + \tilde{B}_2' (\tilde{A}_4^{M-i-1})' \cdot C_2, \quad i = \overline{0, M-1}. \quad (21)$$

Здесь коэффициенты C_1 и C_2 определяются из уравнений

$$\alpha_M = W \cdot C, \quad (22)$$

где

$$\alpha_M = \begin{pmatrix} \alpha_M^1 \\ \alpha_M^2 \end{pmatrix}, W = \begin{pmatrix} W_1 & W_2 \\ W_2' & W_3 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}, \quad (23)$$

$$W_1 = \sum_{i=0}^{M-1} \tilde{A}_1^{M-i-1} \tilde{B}_1 \tilde{B}_1' (\tilde{A}_1^{M-i-1})',$$

$$W_2 = \sum_{i=0}^{M-1} \tilde{A}_1^{M-i-1} \tilde{B}_1 \tilde{B}_2' (\tilde{A}_4^{M-i-1})', W_3 = \sum_{i=0}^{M-1} \tilde{A}_4^{M-i-1} \tilde{B}_2 \tilde{B}_2' (\tilde{A}_4^{M-i-1})'.$$

Из уравнения (22) будем иметь

$$C = W^{-1} \alpha_M, \quad (24)$$

где

$$W^{-1} = \begin{pmatrix} W_1^{-1} + W_1^{-1} W_2 S^{-1} W_2' W_1^{-1} & -W_1^{-1} W_2 S^{-1} \\ -S^{-1} W_2' W_1^{-1} & S^{-1} \end{pmatrix}, S = W_3 - W_2' W_1^{-1} W_2.$$

В результате сформулируем следующую теорему об «Управлении с минимальной энергией»:

ТЕОРЕМА 2. Если матрица W в (22) имеет полный ранг, то существует управление $u^* = u^*(k)$, которое переводит системы (14) и

(15) из состояния (16) в состояния (17) [6]. Кроме того, если $|W_1| \neq 0$ (или $|W_3| \neq 0$), то оптимальное управление и соответствующие оптимальные траектории задачи (4), (14) - (17) определяются формулами:

$$u^*(k) = \tilde{B}_1'(\tilde{A}_1^{M-k-1})' r_M^1 + \tilde{B}_2'(\tilde{A}_4^{M-k-1})' r_M^2, \quad (25)$$

$$\tilde{x}(k) = \tilde{A}_1^k \tilde{x}_0 + \sum_{i=0}^{k-1} \tilde{A}_1^{k-i-1} \tilde{B}_1 \left[\tilde{B}_1'(\tilde{A}_1^{M-i-1})' r_M^1 + \tilde{B}_2'(\tilde{A}_4^{M-i-1})' r_M^2 \right],$$

$$\tilde{z}(k) = \tilde{A}_4^k \tilde{z}_0 + \sum_{i=0}^{k-1} \tilde{A}_4^{k-i-1} \tilde{B}_2 \left[\tilde{B}_1'(\tilde{A}_1^{M-i-1})' r_M^1 + \tilde{B}_2'(\tilde{A}_4^{M-i-1})' r_M^2 \right],$$

$$\text{где } r_M^1 = (W_1^{-1} + W_1^{-1} W_2 S^{-1} W_2' W_1^{-1}) \alpha_M^1 - W_1^{-1} W_2 S^{-1} \alpha_M^2,$$

$$r_M^2 = -S^{-1} W_2' W_1^{-1} \alpha_M^1 + S^{-1} \alpha_M^2.$$

ЛИТЕРАТУРА

2. Красовский Н.Н. Теория управления движением. – Москва: Наука, 1968. – 476 с.
3. Васильева А.Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические разложения решений сингулярно-возмущенных уравнений. М.: Наука, 1973. 272 с.
4. Стрыгин В. В., Соболев В. А. Разделение движений методом интегральных многообразий. – Москва: Наука. 1988. - 256 с.
5. А.И.Егоров. Обыкновенные дифференциальные уравнения с приложениями. – Москва: Физматлит, 2005. – 384 с.
6. Иманалиев.З.К., Аширбаев Б.Ы., Алымбаева Ж.А. Решение дискретной задачи оптимального управления с малым шагом //Междунар. научно-информац. журн. «Наука и инновации». Вып. №1, Бишкек, 2013. с. 35 – 41.
7. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. - Москва: Наука, 1976.- 424 с.

ПОДГОТОВКА РАСЧЕТНЫХ АКСЕЛЕРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРУНТОВЫЕ ПЛОТИНЫ В ПРОГРАММЕ FLAC

Чукин Р.Б.

ИГиОН НАН КР

Для выполнения расчетов на сейсмическую устойчивость сооружений по динамической теории необходимо иметь подготовленную расчетную акселерограмму. Для понимания процесса подготовки записи ускорений рассмотрим приложение сейсмической нагрузки в программе FLAC более подробно. В программе FLAC ввод динамической нагрузки может быть осуществлен четырьмя способами, в виде:

- акселерограммы;
- скорости;
- напряжения или давления;
- силы.

В расчетной модели динамическая нагрузка прикладывается в виде граничного условия. Выше перечисленные способы выступают как множители к заданным значениям, характеризующим свойства материала, к которому осуществляется приложение динамической нагрузки. Эти заданные значения будут более подробно рассмотрены ниже. Множитель может быть представлен в виде:

- таблицы;
- специального файла называемым history;

- или функцией написанной в специализированном языке программирования FISH.

Например, если множитель представлен в табличной форме, то его значения и соответствующие значения времени сейсмической нагрузки представлены парой цифр в каждой строке. Временные интервалы в данной таблице могут быть разными. Использование табличной формы представления множителя не совсем удобно по сравнению с двумя остальными. Специальный файл history хранящий значения множителя, возможно, использовать только при одинаковых интервалах времени динамической нагрузки. Если используется функция, написанная на языке FISH, то она должна иметь доступ к динамическому времени расчета и моделировать множитель нагрузки соответствующий своему времени счета.

Динамическая нагрузка может быть приложена как в направлении оси x так и y по отношению к границе модели. Для ввода сейсмической нагрузки, как правило, используется не ускорения, а скорости расчетной сейсмической записи, которые затем трансформируются в нормальные или касательные напряжения через заданные характеристики грунта основания по формулам:

$$\sigma_n = 2(\rho C_p)v_n \quad (1)$$

$$\sigma_s = 2(\rho C_s)v_s \quad (2),$$

где σ_n - прикладываемое нормальное напряжение;

σ_s - прикладываемое касательное напряжение;

ρ - плотность грунта основания, к которому осуществляется приложение динамической нагрузки;

C_p - скорость распространения p -волн (волна сжатия) в грунте к которому осуществляется приложение динамической нагрузки;

C_s - скорость распространения s-волн (волна сдвига) в грунте к которому осуществляется приложение динамической нагрузки;

v_n - скорость вводимой записи по направлению нормали;

v_s - скорость вводимой записи по направлению сдвига.

В выражениях (1) и (2) напряжение должно быть удвоено, так как половина вводимой энергии поглощается вязкими граничными условиями модели, которые имитируют бесконечную среду. Данная формулировка идентична формулировки Джойнера и Чена /1/.

Рассмотрим пример приложения сейсмической волны. Импульс прикладывается как history файл касательного напряжения к основанию вертикальной колонны высотой 50 метров показанной на рисунке 1.

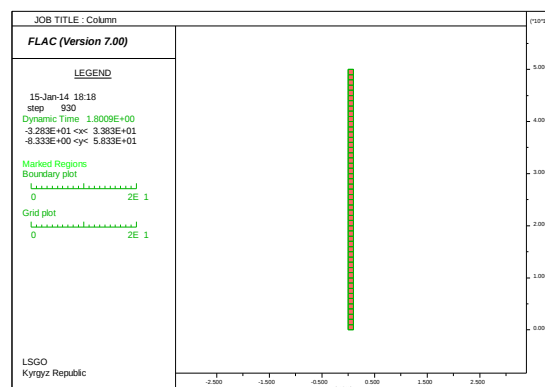


Рис. 1- Численная модель вертикальной колонны высотой 50 метров.

Основание колонны жестко зафиксировано и имеет поверхность затухания, а вершина колонны может свободно колебаться. Свойства материала колонны подобраны следующим образом: скорость распространения s-волны равна 100 м/сек, а произведение ρC_s составляет 10^5 (кг/м³*м/сек). Амплитуда импульса касательного напряжения устанавливается равной $2 \cdot 10^5$ Па в соответствии с выражением (2), что генерирует амплитуду скорости, равную 1м/сек в основании колонны. На рисунке 2 показаны значения скоростей

горизонтальных смещений записанных у основания в середине и на вершине колоны соответственно, вызванных сейсмической волной. Два последних импульса соответствуют прохождению отраженной волны в середине и в основании колоны. Эффект удвоения скорости на свободной поверхности так же как и отсутствие волн после примерно 1,3 секунды расчета подтверждает что граничные условия модели заданы корректно.

Эффект удвоения на свободной поверхности описан в работах посвященных упруго-динамическим моделям /2/. Важным аспектом при выборе размеров (мощности) основания модели является эффект удвоения скорости на поверхности. Если записать горизонтальные скорости вдоль модели колоны, то можно пронаблюдать увеличение амплитуды скоростей горизонтальных смещений на глубине 7 метров от вершины, как показано на рисунке 3. В общем случае, основываясь на примере модели упругой колоны высотой 50 метров, можно констатировать, что амплитуда скоростей горизонтальных смещений вершины колоны увеличивается в два раза по сравнению с прикладываемым к основанию импульсом. Таким образом, задавая основание модели мощностью в 50 метров исходную запись ускорений при подготовке ее к расчетной записи ускорений можно уменьшить вдвое. Данное утверждение всегда необходимо проверять на расчетах деконволюции. Под деконволюцией понимается процесс подбора расчетных характеристик прикладываемых нагрузок в основании модели так, что бы на естественной поверхности скального основания получить необходимые характеристики сейсмического воздействия. Для данной процедуры можно использовать как FLAC, так и специализированные программы, например SHAKE и другие.

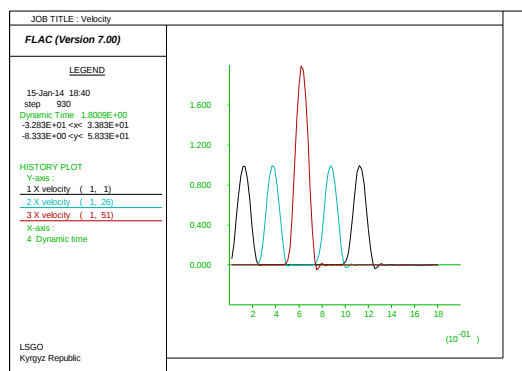


Рис. 2 - Значения скоростей записанных у основания (черная линия) в середине (голубая линия) и на вершине колоны (красная линия) соответственно.

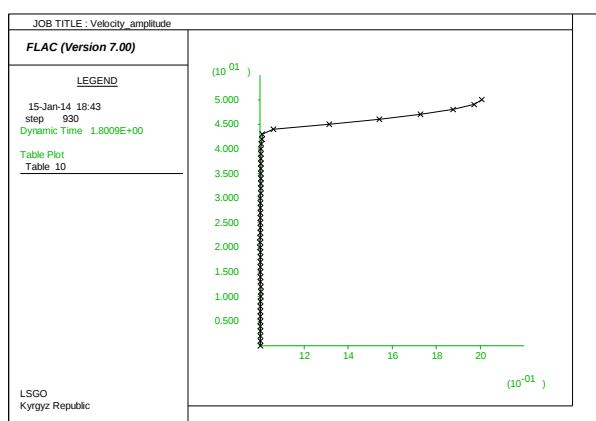


Рис. 3 - Амплитуда скоростей горизонтальных смещений вдоль тела 50-метровой колоны.

Согласно пункта 9.1.5 /3/ расчетную сейсмичность площадки строительства гидротехнического сооружения определяют инструментальным и расчетным методами сейсмического микрорайонирования. Чаще всего проектировщики не имеют в своем распоряжении акселерограммы полученные методами сейсмического микрорайонирования. Данных об интенсивности землетрясения на охваченных им территориях обычно нет, поскольку балльность оценивается визуальным анализом разрушений, повреждений и т.д. Качественные записи акселерограмм землетрясений являются

большой редкостью. Если акселерограммы и записывают, то лишь на сейсмостанциях, и, как правило, вдалеке от разрушенных объектов. Найти эти записи в оцифрованном формате очень трудно даже в интернете. Поскольку записи землетрясений являются базовыми характеристиками сейсмического воздействия, их по праву можно назвать основой многих научных исследований в области сейсмостойкого проектирования объектов, а значит важным фактором будущей сейсмической безопасности. Получив качественную и всеобъемлющую общедоступную информацию, о реальных сейсмических воздействиях ученые и специалисты смогут повысить надежность и ответственность всех решений направленных на сейсмическую безопасность /4/.

Рассмотрим пример подготовки записи Суусамырского землетрясения произошедшего в Кыргызской Республике (КР) 7 сентября 1992 года к расчетной записи. Это последнее в КР сильнейшее землетрясение магнитудой 7,4 и интенсивностью сотрясения в эпицентре 9-10 баллов. Запись ускорений самого землетрясения в цифровом виде найти не удалось. В распоряжении имеется откорректированная запись афтершока продолжительностью 23,95 секунды. Акселерограмма афтершока показана на рисунке 4.

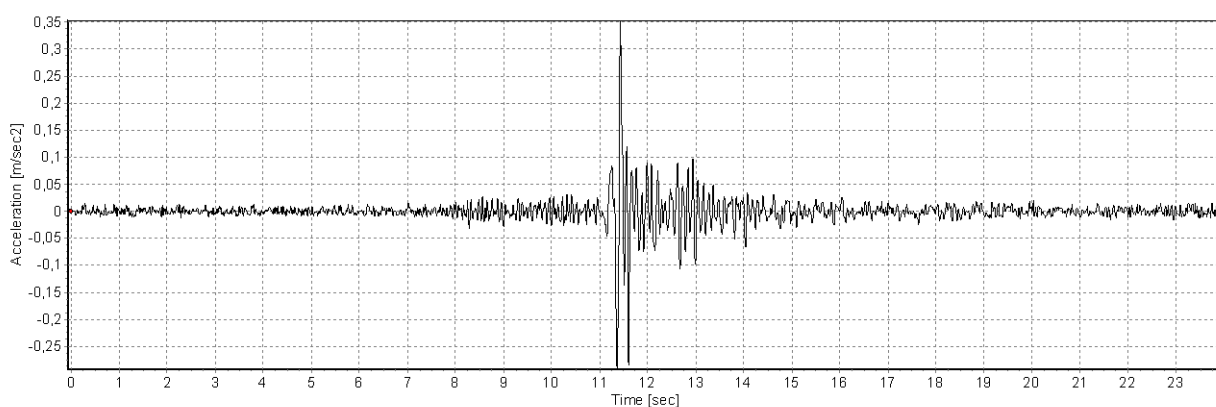


Рис. 4 - Акселерограмма афтершока Суусамырского землетрясения.

Максимальное ускорение $0,35306 \text{ м/сек}^2$ достигается на 11,43 секунде сейсмического воздействия. Сейсмостойкие объекты проектируются в соответствии с установленной расчетной сейсмичностью площадки строительства в баллах. Например, для площадки с сейсмичностью 8 баллов расчеты объектов будут выполняться с использованием акселерограмм, нормированных (масштабированных) к максимальному ускорению $0,2g$ согласно шкале MSK-64. При этом, значение $0,19g$ будет сочтено заниженным, а значение $0,3g$ – завышенным. Повысить или понизить расчетные значение пикового ускорения a_n можно только в два раза, путем согласованного повышения или понижения сразу на один балл по шкале MSK-64. Сейсмическое районирование осуществляется исключительно в баллах, что дает весьма условное задание уровней сейсмического воздействия. Это плохо согласуется с характеристиками реальных землетрясений, где не бывает фиксированных уровней /5/. Допустим, что предполагаемая площадка строительства находится в 9 балльной зоне согласно карте сейсмического районирования. Таким образом, пиковое ускорение на поверхности составит $0,4g$. Необходимо произвести масштабирование записи ускорений афтершока и подвести пиковое ускорение к необходимому значению с помощью расчетных коэффициентов, а также преобразовать из размерности м/сек^2 в g для большей наглядности. На рисунке 5 показана та же акселерограмма но уже после масштабирования. Предварительно данную запись уменьшаем вдвое согласно методике расчета 50 метрового скального основания

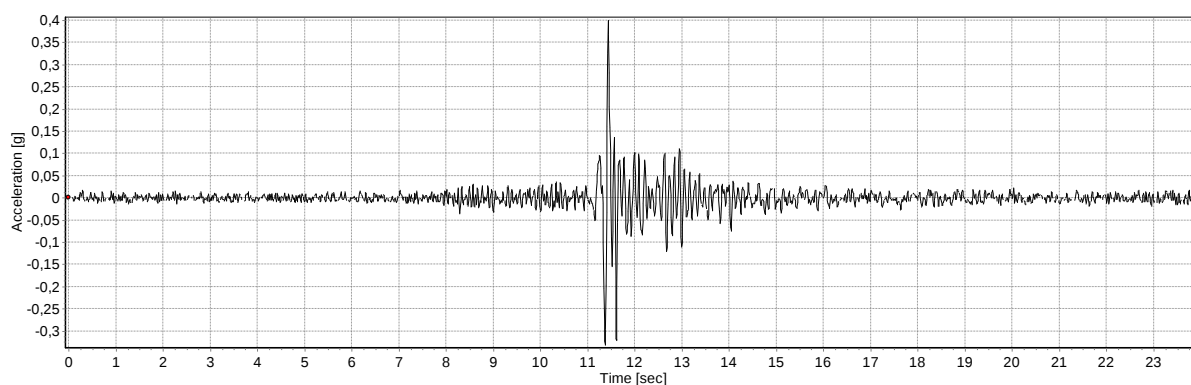


Рис. 5 - Акселерограмма афтершока Суусамырского землетрясения после процесса масштабирования к пиковому ускорению 0,4g.

описанной выше. На рисунке 6 показана акселерограмма загруженная в программу FLAC. Рассмотрим частотные характеристики записи ускорений, для этого произведем

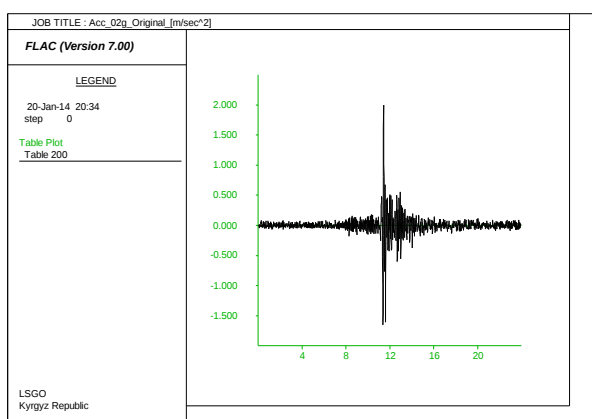


Рис 6 - Акселерограмма афтершока Суусамырского землетрясения загруженная в программу FLAC.

разложение в ряд Фурье. Результат анализа энергетического спектра ускорений представлен на рисунке 7. Из рисунка видно, что доминантная частота ускорений примерно 9 Гц. Наивысшие частотные компоненты меньше чем 10 Гц. Рассмотрим частотные компоненты записи скоростей. Для этого проинтегрируем один раз запись ускорений и произведем разложение в ряд Фурье. Результаты разложения скоростей показаны на рисунке 8. Из рисунка 8 видно, что

доминантная частота меньше 1 Гц. На следующем этапе производится процесс частотной отфильтровки записи ускорений и удаление из нее частот выше 10 Гц, т.к.:

- максимумы спектра находятся в диапазоне от 1 до 10 Гц;
- как правило, максимумы колебаний землетрясений не превышают частоту в 10 – 15 Гц.

Результат процесса частотной отфильтровки записи ускорения показан на рисунке 9.

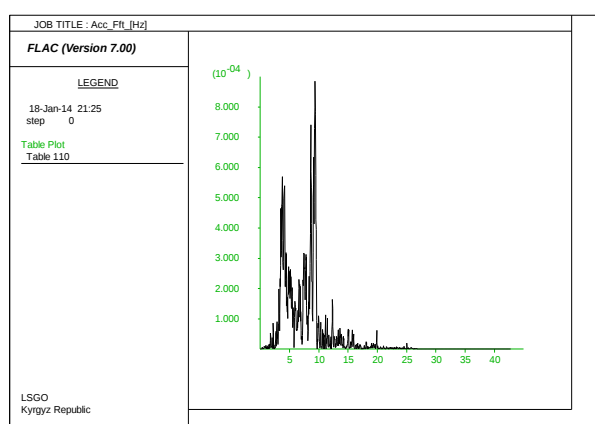


Рис. 7 - Энергетический спектр ускорений.

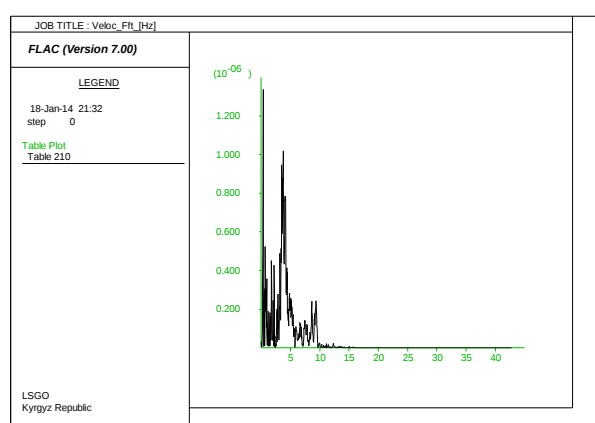


Рис. 8 - Энергетический спектр скоростей.

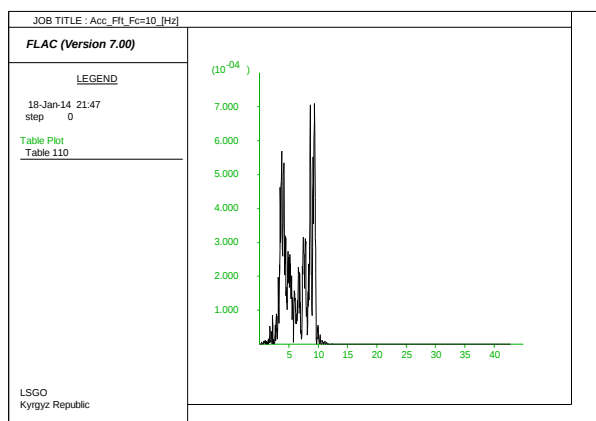


Рис. 9 - Энергетический спектр ускорений после применения фильтра в 10 Гц.

Далее проверяется вводимая запись на отклонение смещений от нулевой линии. Для этого интегрируется запись скоростей, что в результате дает волнообразную запись смещений соответствующую вводимой записи ускорений. Результирующее остаточное смещение примерно равно 0,0023 метра. Корректировка относительно нулевой линии осуществляется с помощью добавления низкочастотной синусоидальной волны к записи скоростей. Параметры синусоидальной волны регулируются так, чтобы конечные смещения приходили в ноль. На рисунке 10 показаны откорректированные и не откорректированные смещения. Отфильтрованная и откорректированная запись подготовлена к расчету. Согласно выражению (2) для задачи сейсмической нагрузки необходима запись скорости v_s , которая выступает как множитель. Вводимая скорость сейсмической нагрузки показана на рисунке 11. Далее производится деконволюция для проверки, что пиковые ускорения на поверхности достигают расчетных показателей в 0,4g. Если этого не произошло необходимо увеличить прикладываемую нагрузку. Сделать это можно двумя путями: во-первых, пойти на допущение и увеличить плотность материала или скорость прохождения волн, к которому осуществляется приложение нагрузки согласно выражению (2); во-

вторых, уменьшить запись не в два раза, а на меньший коэффициент и повторить расчеты. Первый способ является более быстрым в осуществлении, но менее корректный.

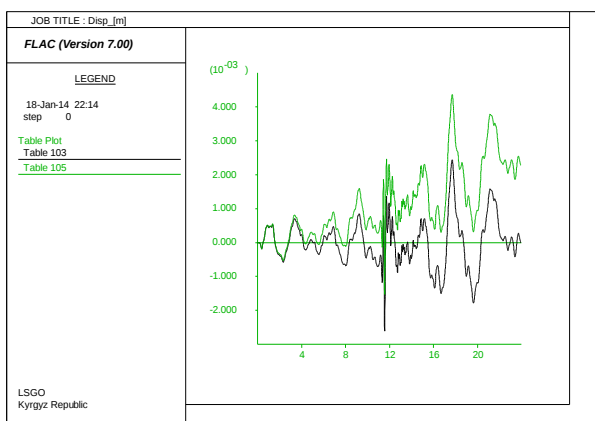


Рис. 10 - Откорректированные (черная линия) и не откорректированные (зеленая линия) относительно нулевой линии смещения.

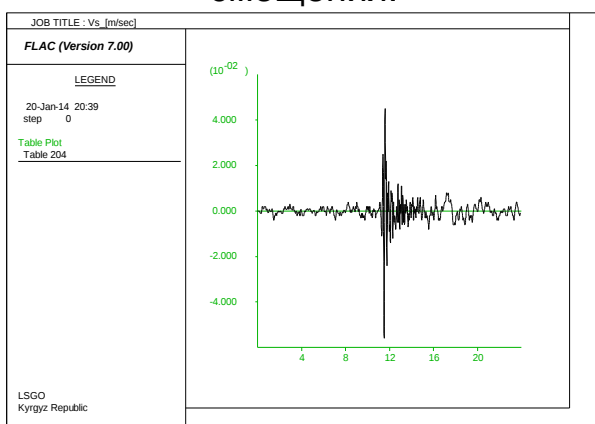


Рис. 11 - Вводимая скорость сейсмической нагрузки в расчетную модель, после процесса отфильтровки и корректировки нулевой линии.

Проведем расчет скального основания высотой 50 и шириной 100 метров показанного на рисунке 12, со следующими свойствами:

Плотность – $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$

Сцепление – $c = 0,0 \text{ Па}$

Угол внутреннего трения – $\phi = 38,0 \text{ градусов}$

Скорость распространения s-волн – $C_s = 750 \text{ м/сек}$

На рисунке 13 показано сравнение прикладываемой акселерограммы с записанными ускорениями на поверхности расчетной модели. Как

видно из рисунка пиковые ускорения достигли расчетных характеристик в 0,4g. На рисунке 14 показан график сравнения вводимой скорости и скорости полученной на поверхности модели.

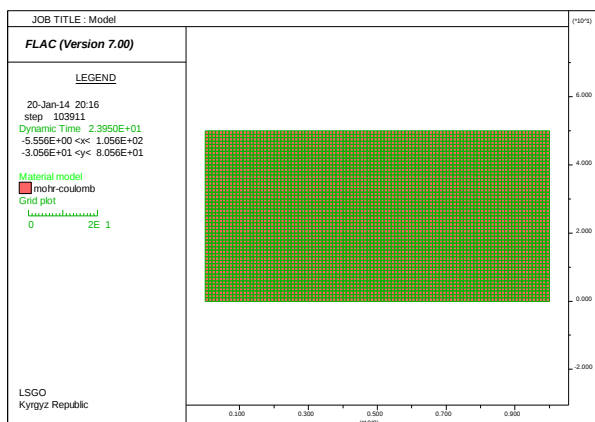


Рис. 12 - Модель скального основания для расчета деконволюции.

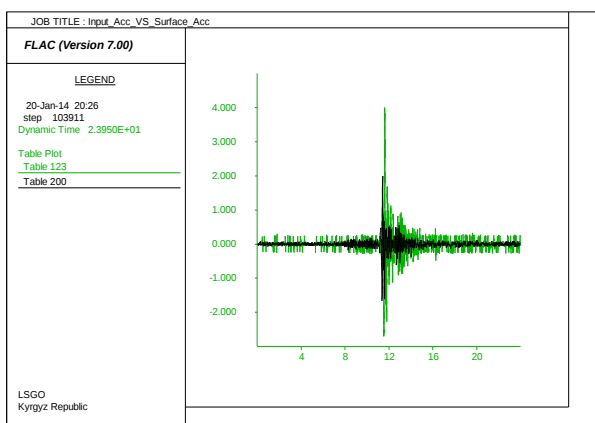


Рис. 13 - Сравнение прикладываемой акселерограммы (черная линия) с акселерограммой полученной на поверхности расчетной модели (зеленая линия).

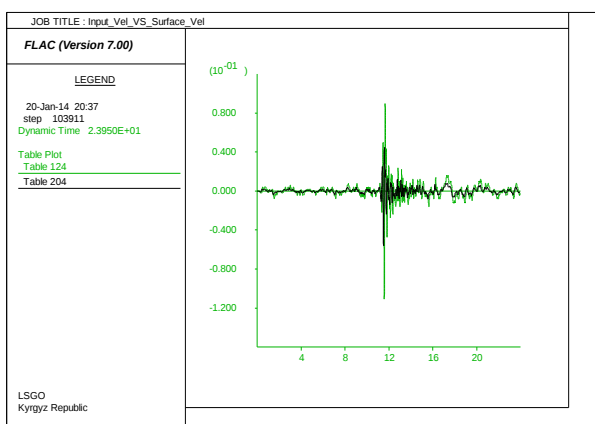


Рис. 14 - Сравнение прикладываемой скорости (черная линия) со скоростью, полученной на поверхности расчетной модели (зеленая линия).

Как видно из графиков сравнения скорость и ускорения на поверхности 50 метрового скального основания увеличились в два раза. Подготовка записи афтершока Суусамырского землетрясения закончена. Далее можно приступить к формированию локальных грунтовых условий для проверки их влияния на изменение сейсмической волны /6/ и выполнить расчеты сейсмической устойчивости грунтовых плотин на реальном грунтовом основании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Joyner, W. B., and A. T. F. Chen. "Calculation of Nonlinear Ground Response in Earthquakes," Bulletin of the Seismological Society of America, 65(5), 1315-1336 (October 1975).
2. Graff, K. G. Wave Motion in Elastic Solids. New York: Dover Publications Inc. (1991)
3. СНиП КР 20-02:2009 Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Госстрой КР, 2009.
4. Idriss, I. M. "Response of Soft Soil Sites during Earthquakes," in Proceedings of the H. B. Seed Memorial Symposium, Vol. 2. Bi-Tech Publishing Ltd. (1990).
5. Ц. Ломниц и Е. Розенблюта, Сейсмический риск и инженерные решения, Недра, 1981 – Всего страниц: 374.
6. Seed, H. B., and I. Idriss. "Influence of Soil Conditions on Ground Motion During Earthquakes," J. Soil Mech. Found., Div. ASCE, **95**, 99-137 (1969).

ПОСТРОЕНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ МАТРИЦЫ ДИСКРЕТНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ

Осмонканов А.М., Тюменбаева А.Н.

Кыргызский государственный университет строительства,
транспорта и архитектуры им.Н.Исанова.
Бишкекский колледж компьютерных технологий.

В данной статье предложен способ построения переходной матрицы дискретной управляемой системы. Рассмотрен пример построения переходной матрицы стационарной дискретной управляемой системы.

Пусть объект управления описывается разностным уравнением

$$x(k+1) = A(k)x(k) + B(k)u(k) \quad (1)$$

где x – n – мерный вектор состояния, u – r – мерный вектор управления, $A(k)$, $B(k)$ – матрицы размера $(n \times n)$, $(n \times r)$ соответственно, $k = 0, 1, \dots, N-1$.

Начальное состояние системы (1) задано

$$x(0) = x_0. \quad (2)$$

При $u(k)=0$ находим решение однородного уравнение

$$x(k+1) = A(k)x(k). \quad (3)$$

Ее общее решение имеет вид

$$x_{oo}(k) = \psi(k) \cdot C = \sum_{i=1}^n C_i \psi_i(k), \quad (4)$$

где $C_1, \dots, C_n$ – произвольные постоянные, $\psi(k) – (n \times n)$ – фундаментальная матрица составленная из линейно независимых решений $\psi_i(k) = (\psi_{1i}(k), \dots, \psi_{ni}(k))^T, i = 1, \dots, n$ системы (3) т.е. справедлива равенства

$$\psi(k+1) = A(k)\psi(k). \quad (5)$$

Общее решение уравнение (1) ищем в виде

$$x(k) = \psi(k) \cdot C \quad (6)$$

где $C(k) = (C_1(k), \dots, C_n(k))^T$ – неизвестные функции подлежащих определению.

Подставим (5) в уравнение (1)

$$\psi(k+1)C(k+1) = A(k)\psi(k) \cdot C(k) + B(k)u(k).$$

Вычитая из обеих частей последнего уравнения $\psi(k+1)C(k)$ с учетом (5) получаем

$$\psi(k+1)\Delta C(k) = B(k)u(k) \quad (7)$$

где $\Delta C(k) = C(k+1) - C(k)$.

Из (7) имеем

$$\Delta C(k) = \psi^{-1}(k+1)B(k)u(k). \quad (8)$$

Выпишем соотношение (8) при $k = 0, 1, \dots, N$:

$$C(1) - C(0) = \psi^{-1}(1)B(0)u(0),$$

$$C(2) - C(1) = \psi^{-1}(2)B(1)u(1),$$

$$\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots,$$

$$C(N) - C(N-1) = \psi^{-1}(N)B(N-1)u(N-1)$$

и суммируя получаем

$$C(k) = C(0) + \sum_{j=0}^{k-1} \psi^{-1}(j+1)B(j)u(j). \quad (9)$$

Тогда

$$x(k) = \psi(k)C(0) + \sum_{j=0}^{k-1} \psi(j+1)\psi^{-1}(j+1)B(j)u(j). \quad (10)$$

При $k = 0$ $x(0) = \psi(0)C(0) = x_0$, поэтому $C(0) = \psi^{-1}(0)x_0$, тогда из (10) получаем

$$x(k) = \psi(k)\psi^{-1}(0)x_0 + \sum_{j=0}^{k-1} \psi(j+1)\psi^{-1}(j+1)B(j)u(j). \quad (11)$$

Теперь переходим построению переходной матрицы системы (1).

Известно [1], что переходную матрицу можно представить в виде

$$\Psi(k, j+1) = \psi(k)\psi^{-1}(j+1), \quad (12)$$

тогда решение (11) можно записать в виде

$$x(k) = \Psi(k, 0)x_0 + \sum_{j=0}^{k-1} \Psi(k, j+1)B(j)u(j). \quad (13)$$

где $\Psi(k, 0)$ – переходная матрица однородной системы (3) определяемый формулой (12).

Для стационарной системы

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k), \quad x(0) = x_0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (14)$$

решение (13) имеет вид

$$x(k) = A^k x_0 + \sum_{j=0}^{k-1} A^{k-j-1} Bu(j), \quad (15)$$

где $\Psi(k) = A^k$ – переходная матрица системы (14).

Для построения переходной матрицы $\Psi(k) = A^k$ можно вычислить, непосредственно умножая матрицу A на A необходимое число раз. Однако такой путь эффективен лишь при небольших значениях k . Если же k может принимать большие значения можно воспользоваться теоремой Кели-Гамильтона о том, что характеристический многочлен матрицы является ее аннулирующим многочленом [2].

Разделив λ^k на характеристический многочлен $P(\lambda) = \det(A - \lambda E)$ матрицы A , получаем

$$\lambda^k = P(\lambda)Q(\lambda) + R(\lambda), \quad (16)$$

где $Q(\lambda)$ -частное, $R(\lambda)$ – остаток, причем остаток – это многочлен степени меньше, чем размерность n матрицы A , имеющий вид

$$R(\lambda) = r_{n-1}\lambda^{n-1} + r_{n-2}\lambda^{n-2} + \dots + r_1\lambda + r_0 \quad (17)$$

Подставив в (16) вместо λ матрицу A получаем

$$A^k = R(A), \quad (18)$$

так как по теореме Кели-Гамильтона $P(A)=0$.

В случае простых различных корней характеристического уравнения, подставляя корни λ_i в (16), с учетом $P(\lambda_i) = 0$ получаем

$$\lambda_i^k = R(\lambda_i) = r_{n-1}\lambda_i^{n-1} + r_{n-2}\lambda_i^{n-2} + \dots + r_1\lambda_i + r_0, \quad i = 1, \dots, n \quad (19)$$

Если λ_i - действительный корень характеристического уравнения кратности μ , то, учитывая, что

$$P(\lambda_i) = 0, \quad P'(\lambda_i) = 0, \dots, P^{(\mu-1)}(\lambda_i) = 0,$$

из (16), последовательно дифференцируя, получаем

$$\left. \frac{d^j}{d\lambda^j} \lambda^k \right|_{\lambda=\lambda_i} = \left(\frac{d^j}{d\lambda^j} R(\lambda) \right) \Big|_{\lambda=\lambda_i}, j=0,1,\dots,\mu-1. \quad (20)$$

Это система μ линейных уравнений относительно коэффициентов $r_0, r_1, \dots, r_{n-1}$ многочлена $R(\lambda)$.

Если $\lambda_{1,2} = a \pm \beta i$ – пара комплексных сопряженных корней кратности μ , то из (20) получаем систему 2μ уравнений, приравнивая действительные и мнимые части.

Таким образом, из (17) следует, что переходная матрица $\Psi(k) = A^k$ линейной стационарной системы (14) имеет вид

$$A^k = r_{n-1}A^{n-1} + \dots + r_1A + r_0E, \quad (21)$$

где коэффициенты $r_0, r_1, \dots, r_{n-1}$ многочлена, зависящие от дискретного времени k , находятся из (19), (20).

Пример. Найти переходную матрицу системы:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_1(k) - x_2(k) + u(k), \\ x_2(k+1) &= -2x_1(k) - u(k) \end{aligned} \quad (22)$$

при начальных условиях $x_1(0) = 3, x_2(0) = 0$.

Уравнения(22) имеет вид (1) с матрицами

$$x(k) = \begin{pmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -2 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}.$$

Составим характеристическое уравнение для матрицы A :

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & -1 \\ -2 & \lambda \end{vmatrix} = 0 \Leftrightarrow \lambda^2 - \lambda - 2 = 0$$

Оно имеет два простых корня $\lambda_1 = -1$ и $\lambda_2 = 2$ (кратность $\mu=1$).

Поскольку $n=2$, то согласно (17) имеем

$$R(\lambda) = r_1\lambda + r_0.$$

Записывая для каждого корня равенство (19), получаем систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными r_0, r_1 :

$$\begin{aligned} -r_1 + r_0 &= (-1)^k, \\ 2r_1 + r_0 &= 2^k. \end{aligned}$$

Отсюда находим коэффициенты

$$r_0 = \frac{1}{3}(2^k + 2 \cdot (-1)^k), \quad r_1 = \frac{1}{3}(2^k - (-1)^k).$$

Из равенства (21) определяем переходную матрицу

$$\Psi(k) = r_1 A + r_0 E = \frac{1}{3}(2^k - (-1)^k) \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -2 & 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{3}(2^k + 2 \cdot (-1)^k) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

После упрощений получаем

$$\Psi(k) = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2^{k+1} + (-1)^k & -2^k + (-1)^k \\ -2^{k+1} + 2 \cdot (-1)^k & 2^k + 2 \cdot (-1)^k \end{pmatrix}.$$

Используя переходную матрицу, запишем формулу (13) для $x_0 = \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix}$:

$$x(k) = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2^{k+1} + (-1)^k & -2^k + (-1)^k \\ -2^{k+1} + 2 \cdot (-1)^k & 2^k + 2 \cdot (-1)^k \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix} + \sum_{j=0}^{k-1} \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2^{k-j} + (-1)^{k-j-1} & -2^{k-j-1} + (-1)^{k-j-1} \\ -2^{k-j} + 2 \cdot (-1)^{k-j-1} & 2^{k-j-1} + 2 \cdot (-1)^{k-j-1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} u(k)$$

Отсюда

$$x(k) = \begin{pmatrix} 2 \cdot 2^k & (-1)^k \\ -2 \cdot 2^k & 2 \cdot (-1)^k \end{pmatrix} + \sum_{j=0}^{k-1} \begin{pmatrix} 2^{k-j-1} \\ -2^{k-j-1} \end{pmatrix} u(k).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Портер У. Современное основание общей теории систем. Москва: Наука, 1971.- 556 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. Москва: Наука, 1988.- 552 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В КЫРГЫЗСТАНЕ

Тажибаев Д.К.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Как известно, недра Кыргызстана богаты не только редкоземельными, благородными металлами, но и углем. На Кыргызстан приходится около половины запасов каменных и бурых углей Среднеазиатской угольной провинции. Известно около 45 месторождений угля (Южно-Ферганский, Узгенский, или Восточно-Ферганский, Кавакский, Иссык-Кульский и Алайский угольные районы). Общие геологические запасы углей в республике оцениваются в 28,3 млрд. т, из них 2,3 млрд. т — разведанные, 26 млрд. т — прогнозные, отвечающие современным требованиям промышленности. По группам марок запасы распределяются следующим образом: бурые, энергетические — 18%; каменные энергетические — 71%; каменные коксующиеся, технологические — 9%, полуантрациты и антрациты, технологические — 2%.

С учетом существующих экономических, геополитических условий республики, рыночных цен на энергоносители, с учетом возможности получения из угля целого ряда товарных продукций, уголь для Кыргызстана - это бесценный дар природы и стратегическое сырье. В условиях рыночной экономики для того, чтобы сделать угольную промышленность республики высокорентабельной необходимо комплексное освоение угольных месторождений

республики с получением таких товарных продуктов как электроэнергия, минеральные удобрения, энергетический и бытовой газ, жидкое моторное топливо и ряд других химических продуктов, тем самым на основе угольной отрасли развивая электроэнергетику, химическую и другие отрасли промышленности республики.

Известно, что как сырье бурый уголь из-за своей дешевизны считается перспективным: месторождения угля залегают, как правило, неглубоко от поверхности, поэтому добывать уголь можно самым дешевым открытым способом в угольных разрезах.

Вместе с тем по своим характеристикам и теплотворным свойствам бурый уголь уступает каменному углю: имеет повышенную зольность и большое содержание летучих веществ, за счет чего бурый уголь склонен к самовозгоранию. Традиционное сжигание бурого угля приводит к загрязнению окружающей среды окислами азота и серы, другими вредными веществами.

Также одной из важных проблем стоящей перед угольной отраслью Кыргызстана является проблема переработки угольной мелочи, которая составляет порядка 50% от общего количества добываемого угля вследствие высокой склонности бурых углей Кыргызстана к измельчению. Как известно спрос на угольную мелочь небольшой.

Для решения вышеуказанных проблем на сегодняшний день разработаны и успешно эксплуатируются новые технологии, позволяющие более эффективно использовать бурый уголь, нанося минимальный вред окружающей среде. В первую очередь — это производство водоугольного топлива (ВУТ).

Водоугольное топливо (ВУТ) представляет собой дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля, воды и реагента-пластификатора. Приготавливается из угля, углесодержащих отходов и угольных шламов.

Одним из наиболее экономически обоснованных и экологически целесообразных путей замещения газового и нефтяного видов топлив на крупных ТЭЦ и в котельных является применение композиционного водоугольного топлива. Водоугольное топливо представляет собой дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля, воды и реагента-пластификатора.

Состав ВУТ:

уголь (кл. 0-200(500) мкм)	59-70%
вода	29-40%
реагент-пластификатор	1%
температура воспламенения	450-650 ⁰ С
температура горения	950-1050 ⁰ С

Приготовление ВУТ состоит из трёх основных этапов (стадий) (рис.1):

1. Предварительное дробление. Обычно до фракции 10..12мм.
2. Мокрый помол. Обычно до фракции <100...150мкм
3. Гомогенизация.

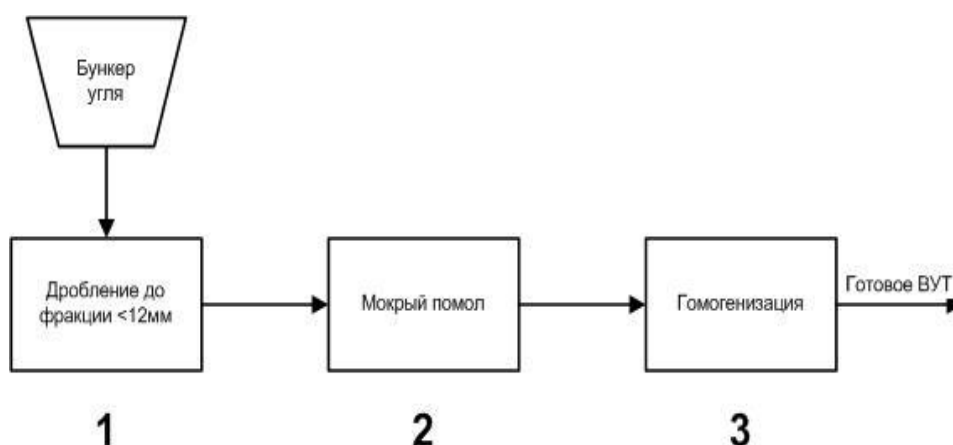


Рис.1. Схема приготовления ВУТ

Первая стадия (предварительное дробление) необходима для получения угольной крошки с фракцией 10..12 мм. Дробление осуществляется на стандартных дробилках (молотковых, щёковых и т.д.). Если в качестве сырья для приготовления ВУТ используется угольный шлам или уголь с фракциями штыб, семечко, то данная стадия исключается из общей линии приготовления ВУТ.

Помол до финальной фракции (менее 100...150 мкм) осуществляется уже в присутствии воды в оборудовании мокрого помола (вторая стадия). Данный этап является ключевым при приготовлении ВУТ, поскольку определяет дальнейшие характеристики ВУТ (грансостав, вязкость, стабильность и т.д.). Кроме того, данный этап обычно является самым энергозатратным.

Самым популярным оборудованием мокрого помола до сегодняшнего дня были специально спроектированные вибромельницы различных модификаций, где помол угля осуществляется мелющими телами (шарами, стержнями) в присутствии воды.

Водоугольная суспензия, выходящая из оборудования мокрого помола, может включать в себя частицы с разбросом по грансоставу. Поэтому для приготовления окончательного ВУТ может потребоваться классификация выходящей из вибромельниц суспензии для выделения частиц с подходящим грансоставом и превышающим его (для вибромельниц такая классификация необходима). Подобная классификация приводит к изменению соотношения твёрдое/жидкое, что, впоследствии, требуется корректировать дополнительными мерами.

При использовании гидроударного узла мокрого помола (ГУУМП, разработка Амальтеа, 2009 год) необходимость классификации водоугольной суспензии отсутствует: в силу принципа помола грансостав на выходе правильно настроенного ГУУМП

практически идентичен для широкого диапазона марок углей. Одновременно с помолом, ГУУМП осуществляет гомогенизацию водоугольной суспензии, устраняя неравномерности распределения частиц угля внутри суспензии.

В ряде случаев стадии мокрого помола в состав ВУТ могут быть включены различные добавки, необходимые для увеличения статической стабильности ВУТ, снижения вязкости или др. Также, на данной стадии могут быть включены различные отходы производства: мазутные, канализационные и др.

Как указано выше, третья стадия (гомогенизация) необходима для придания ВУТ гомогенных свойств. В ряде случаев на данной стадии в состав ВУТ могут быть внесены дополнительные добавки, в т.ч. пластификаторы и стабилизаторы.

Технология ВУТ изначально разрабатывалась как способ утилизации угольных шламов, образующихся в результате обогащения угля.

Уголь, добываемый в шахтах или из угольных разрезов, сортируется и обогащается на обогатительных фабриках (ЦОФ). Результатом обогащения является как товарный уголь, так и угольный шлам с фракциями до 1..6 мм. В большинстве случаев уголь данных фракций (шлам, штыб, семечко) утилизируется как отход. В то же время, при их использовании в качестве сырья для приготовления ВУТ владелец угольного месторождения получает новый товарный продукт (ВУТ), который может быть использован как для собственных нужд (отопление), так и на котельных ТЭЦ и промпредприятий.

Ниже приведена технологическая схема по получению электроэнергии и тепла из ВУТ (рис.2).

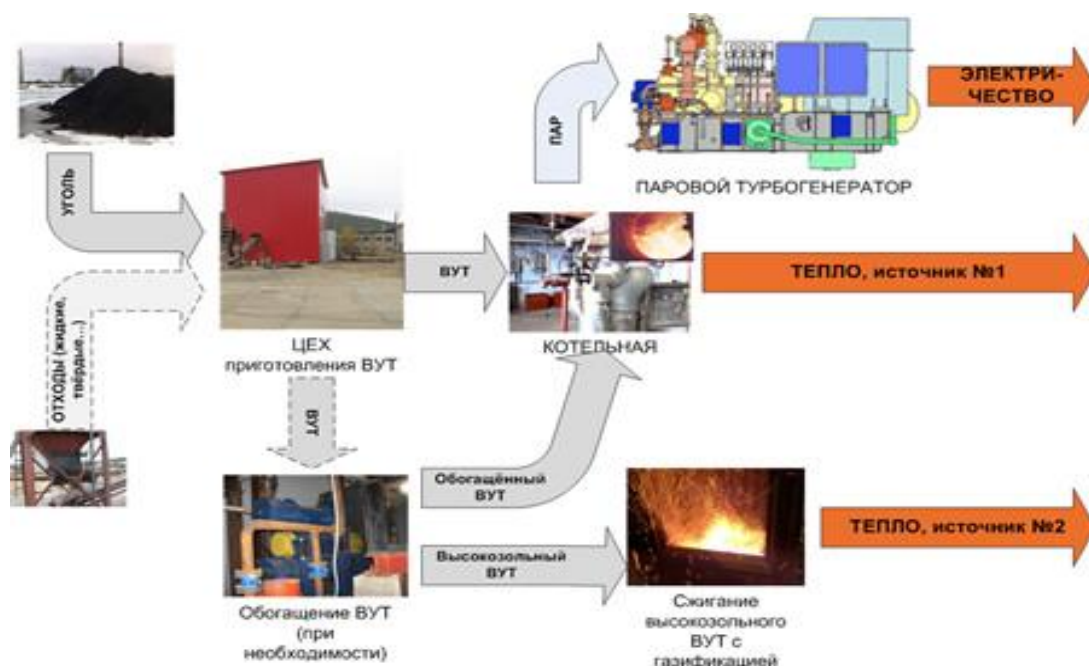


Рис.2. Схема по получению электроэнергии и тепла из ВУТ

Водоугольное топливо обладает всеми технологическими свойствами жидкого топлива: транспортируется в авто- и железнодорожных цистернах, по трубопроводам, в танкерах и наливных судах, хранится в закрытых резервуарах; сохраняет свои свойства при длительном хранении и транспортировании; взрыво- и пожаробезопасно.

Преимущества при использовании ВУТ:

Экологические:

- экологически безопасное на всех стадиях производства, транспортирования и использования;
- позволяет в 1,5-3,5 раза снизить вредные выбросы в атмосферу (пыли, оксидов азота, бенз(а)пирена, двуокиси серы);
- позволяет эффективно использовать образующуюся при сжигании летучую золу.

Технологические:

- подобно жидкому топливу и при переводе теплогенерирующих установок на сжигание ВУТ не требует существенных изменений

конструкции котлов (агрегатов), возможно сжигание в топках для слоевого сжигания твердого топлива, в камерных топках для пылеугольного и жидкого топлива, при сжигании в кипящем слое;

- позволяет легко механизировать и автоматизировать процессы приема, подачи и сжигания топлива;

- разработанная новая технология вихревого сжигания при температуре 950-1050 С позволяет достичь эффективности использования топлива свыше 97% (при слоевом сжигании угля указанная величина не превышает 60%);

- разработаны 4 системы зажигания водоугольного топлива: с применением плазмотрона, природного газа, жидкого и твердого топлив.

Экономические:

- снижает стоимость 1 тонны условного топлива (ТУТ) (в 2-3 и более раз);

- на 15-30% снижаются эксплуатационные затраты при хранении, транспортировании и сжигании;

- обеспечивает снижение в 3 раза капитальных затрат при переводе ТЭЦ и ГРЭС со сжигания природного газа и мазута на водоугольное топливо;

- окупаемость затрат при внедрении ВУТ составляет 1-2,5 года.

На сегодняшний день, мировым лидером в области разработки и внедрения водоугольного топлива в тепло- и электроэнергетике является Китай из-за существующей зависимости этой страны от дефицитных жидких и газообразных видов топлива. Ежегодный объем производства водоугля составляет 40-60 млн тонн.

Ведущими разработчиками технологии водоугля в Китае являются: Пекинский научно-исследовательский угольный институт, Пекинский угольный проектный институт, Гуобаньская научно-технологическая компания, Шеянгский теплоэнергетический институт.

Крупнейшими проектами, реализованными в Китае, являются: 1998 г. Шандунская ТЭЦ (220 тонн пара в час), 2003 г. Шэньянский НПЗ (75 тонн пара в час), 2004 г. ТЭЦ в г. Тингдао (130 тонн пара в час, 2 турбины на 12 и 25 МВт), 2004 г. Гуандунская ТЭЦ (670 тонн пара в час), 2005 г. завод приготовления водоугля и ТЭЦ в г. Маомин (440 тонн пара в час, 1,5 млн тонн водоугля).

Исходя из вышесказанного можно сделать следующее заключение: Кыргызстан обладает большими запасами бурых углей, которые в перспективе при получении из них экологически чистого водоугольного топлива (ВУТ) и использовании ВУТ в качестве альтернативного топлива можно решить проблему зависимости ТЭЦ и других промпредприятий республики от газа и мазута, а также улучшить экологическую ситуацию в стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Делягин Г.Н., Петраков А.П., Ерохин С.Ф. ЭКОВУТ – новое экологически чистое топливо нового поколения. Сборник докладов Всероссийского научно-технического семинара 23- 24 января 2001 г – М.: ВТИ, 2001 г. – С.99 – 106.

ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАКОПЛЕННОЙ УПРУГОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ УСТУПОВ СКЛОНА ГОРЫ

Баялиева Ж.А.

КНАУ им. К.И. Скрябина

Для определения вероятности зон разрушения массивов в сопряженных местах уступа и склона горы исследованы количественные и качественные показатели упругих накопленных энергий деформации массива. Рассмотрены два варианта действия нагрузок: сила гравитации и совместное действие гравитационной силы и тектонического горизонтального сжатия $T_x = -45$ Мпа. Сохранена принятая в нашей работе [1] методика аналитического описания и алгоритм расчета в нотациях MATHCAD [3]. Текст программы приведена ниже с минимальными комментариями.

Исходные параметры для геометрических форм и линейных размеров склона горы с уступами приняты следующими значениями:

$$\begin{aligned} \nu &:= 0.4; \quad E := 5.4 \cdot 10^4 \text{ ГПа}; \quad \lambda := \frac{\nu}{1 - \nu}; \quad \lambda = 0.4; \quad T_x := 0 \\ \delta &:= \frac{\pi}{2}; \quad i := \sqrt{-1}; \quad K_c := 0; \quad A_2 := \gamma \cdot (1 - K_c \cdot \cos(\delta)) \\ A_3 &:= \gamma \cdot K_c \cdot \sin(\delta); \quad A_1 := \lambda \cdot A_2; \quad a := 14; \quad a_1 := 16; \quad b_1 := 34; \quad t_b := -2.2; \quad \zeta(\xi, \eta) := \xi + i \cdot \eta; \quad d_1 := 94; \quad t_d := -4.5 \\ \gamma &:= 2.5 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

Отображающая функция представлена $\omega(\xi, \eta) := a \cdot \zeta(\xi, \eta) + \omega_0(\xi, \eta)$, где обозначено:

$$\omega_0(\xi, \eta) := \frac{a_1}{\zeta(\xi, \eta) - i} + \frac{b_1}{\zeta(\xi, \eta) + t_b - i} + \frac{d_1}{\zeta(\xi, \eta) + t_d - i}$$

$$\begin{aligned}
\omega_{0p1}(\xi, \eta) &:= -\frac{a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^2} - \frac{b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^2} - \frac{d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^2} \\
\omega p1(\xi, \eta) &:= \omega_{0p1}(\xi, \eta) + a \\
\omega_{0p2}(\xi, \eta) &:= \frac{2 \cdot a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^3} + \frac{2 \cdot b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^3} + \frac{2 \cdot d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^3} \\
\omega p2(\xi, \eta) &:= \omega_{0p2}(\xi, \eta) \\
\omega_{0p3}(\xi, \eta) &:= \frac{-6 \cdot a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^4} + \frac{-6 \cdot b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^4} - \frac{6 \cdot d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^4} \quad \omega p4(\xi, \eta) := \omega_{0p4}(\xi, \eta) \\
\omega_{0p4}(\xi, \eta) &:= \frac{24 a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^5} + \frac{24 b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^5} + \frac{24 d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^5} \\
\omega p3(\xi, \eta) &:= \omega_{0p3}(\xi, \eta) \\
\omega_{0p5}(\xi, \eta) &:= \frac{-120 a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^6} + \frac{-120 b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^6} - \frac{120 d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^6} \\
\omega p5(\xi, \eta) &:= \omega_{0p5}(\xi, \eta) \\
\omega_{0p6}(\xi, \eta) &:= \frac{720 a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^7} + \frac{6 \cdot 120 b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^7} + \frac{720 d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^7} \quad x(\xi) := \operatorname{Re}(\omega(\xi, 0)) \\
\Omega_0 &:= \omega(0, -1) \quad \Omega_1 := \omega_{0p1}(0, -1) \quad \Omega_2 := \omega_{0p2}(0, -1) \quad y(\xi) := \operatorname{Im}(\omega(\xi, 0)) \\
\Omega_3 &:= \omega_{0p3}(0, -1) \quad \Omega_4 := \omega_{0p4}(0, -1) \quad \Omega_5 := \omega_{0p5}(0, -1) \quad \Omega_{td} := \omega(-td, -1) \\
\Omega_{ptb} &:= \omega_{0p1}(-tb, -1) \quad \Omega_{tb} := \omega(0, -1) \quad \Omega_{ptd} := \omega_{0p1}(-td, -1)
\end{aligned}$$

Выражения для граничных условий для определения функций Мусхелишвили имеют вид:

$$\begin{aligned}
T_3 &:= i \cdot \frac{(A1 + A2)}{4} \quad T_4 := -i \cdot \frac{(A1 - A2 + i \cdot 2 \cdot A3)}{4} \quad T_2 := a \cdot \frac{(A3 + i \cdot A2)}{2} \quad T_1 := \frac{T_x}{2} \quad T_6 := -i \cdot \frac{(A1 - A2 - i \cdot 2 \cdot A3)}{4} \\
T_5 &:= a \cdot \frac{(-A3 + i \cdot A2)}{2} \quad C1 := a1 \cdot \overline{\Omega_1} \quad S1 := -a1 \cdot \overline{\Omega_1} \quad S3 := -b1 \cdot \overline{\Omega_{ptb}} \quad C2 := \overline{\Omega_{ptb}} \cdot b1 \quad S2 := -a1 \cdot \overline{\Omega} \quad S4 := -b1 \cdot \overline{\Omega_{tb}} \\
C3 &:= \overline{\Omega_{ptd}} \cdot d1 \quad S5 := -d1 \cdot \overline{\Omega_{ptd}} \quad S6 := -d1 \cdot \overline{\Omega_{td}} \quad C(\xi, \eta) := \frac{C1}{\zeta(\xi, \eta) - i} + \frac{C2}{\zeta(\xi, \eta) + tb - i} + \frac{C3}{\zeta(\xi, \eta) + td - i} \\
Cp1(\xi, \eta) &:= \frac{-C1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^2} + \frac{-C2}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^2} + \frac{-C3}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^2} \\
Cp2(\xi, \eta) &:= \frac{2 \cdot C1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^3} + \frac{2 \cdot C2}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^3} + \frac{2 \cdot C3}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Cp3(\xi, \eta) &:= \frac{-6 \cdot C1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^4} + \frac{-6 \cdot C2}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^4} + \frac{-6 \cdot C3}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^4} \\
Cp4(\xi, \eta) &:= \frac{24 C1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^5} + \frac{24 C2}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^5} + \frac{24 C3}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^5} \\
S(\xi, \eta) &:= \frac{S1}{\zeta(\xi, \eta) - i} + \frac{S2}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^2} \\
Cp5(\xi, \eta) &:= \frac{-120 \cdot C1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^6} + \frac{-120 \cdot C2}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^6} + \frac{-120 \cdot C3}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^6} \\
Sp1(\xi, \eta) &:= \frac{-S1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^2} + \frac{-2 \cdot S2}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^3} \\
Sp2(\xi, \eta) &:= \frac{2 \cdot S1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^3} + \frac{6 \cdot S2}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^4} \quad Sp3(\xi, \eta) := \frac{-6 \cdot S1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^4} + \frac{-24 \cdot S2}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^5} \\
Sp4(\xi, \eta) &:= \frac{24 \cdot S1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^5} + \frac{120 \cdot S2}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^6} \quad Sp5(\xi, \eta) := \frac{-120 \cdot S1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^6} + \frac{-720 \cdot S2}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^7} \\
\delta S(\xi, \eta) &:= \frac{S3}{\zeta(\xi, \eta) + tb - i} + \frac{S4}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^2} \quad At(\xi, \eta) := T1 \cdot \omega p1(\xi, \eta) \\
Bt(\xi, \eta) &:= -T1 \cdot \omega p1(\xi, \eta) \\
\delta Sp1(\xi, \eta) &:= \frac{-S3}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^2} + \frac{-2 \cdot S4}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^3} \quad Bt1(\xi, \eta) := -T1 \cdot \omega p2(\xi, \eta) \\
Bt2(\xi, \eta) &:= -T1 \cdot \omega p3(\xi, \eta) \\
\delta Sp2(\xi, \eta) &:= \frac{2 \cdot S3}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^3} + \frac{6 \cdot S4}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^4} \\
\delta Sp3(\xi, \eta) &:= \frac{-6 \cdot S3}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^4} + \frac{-24 \cdot S4}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^5} \\
Bt3(\xi, \eta) &:= -T1 \cdot \omega p4(\xi, \eta) \quad Bt4(\xi, \eta) := -T1 \cdot \omega p5(\xi, \eta) \quad Bt5(\xi, \eta) := -T1 \cdot \omega p6(\xi, \eta) \\
\delta Sp4(\xi, \eta) &:= \frac{24 \cdot S3}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^5} + \frac{120 \cdot S4}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^6} \\
\delta Sp5(\xi, \eta) &:= \frac{-120 \cdot S3}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^6} + \frac{-720 \cdot S4}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^7} \\
\delta dS(\xi, \eta) &:= \frac{S5}{\zeta(\xi, \eta) + td - i} + \frac{S6}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^2} \quad \delta dSp1(\xi, \eta) := \frac{-S5}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^2} + \frac{-2 \cdot S6}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^3}
\end{aligned}$$

$$\delta dSp2(\xi, \eta) := \frac{2 \cdot S5}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^3} + \frac{6 \cdot S6}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^4}$$

$$\delta dSp3(\xi, \eta) := \frac{-6 \cdot S5}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^4} + \frac{-24 \cdot S6}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^5}$$

$$\delta dSp4(\xi, \eta) := \frac{24 \cdot S5}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^5} + \frac{120 \cdot S6}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^6}$$

$$\delta dSp5(\xi, \eta) := \frac{-120 \cdot S5}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^6} + \frac{-720 \cdot S6}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^7}$$

$$A(\xi, \eta) := \omega 0(\xi, \eta) \cdot (T5 + T6 \omega 0p1(\xi, \eta)) + T3 C(\xi, \eta) - T6(S(\xi, \eta) + \delta S(\xi, \eta) + \delta dS(\xi, \eta)) + At(\xi, \eta)$$

$$B(\xi, \eta) := T3 \omega 0(\xi, \eta) \cdot \omega 0p1(\xi, \eta) + T2 \omega 0(\xi, \eta) + T4 C(\xi, \eta) - T3(S(\xi, \eta) + \delta S(\xi, \eta) + \delta dS(\xi, \eta)) + Bt(\xi, \eta)$$

$$Bd1(\xi, \eta) := T2 \omega 0p1(\xi, \eta) + T4 Cp1(\xi, \eta) - T3(Sp1(\xi, \eta) + \delta Sp1(\xi, \eta) + \delta dSp1(\xi, \eta))$$

$$Bp1(\xi, \eta) := T3(\omega 0(\xi, \eta) \cdot \omega 0p2(\xi, \eta) + \omega 0p1(\xi, \eta) \cdot \omega 0p1(\xi, \eta)) + Bd1(\xi, \eta) + Bt1(\xi, \eta)$$

$$Bd2(\xi, \eta) := T2 \omega 0p2(\xi, \eta) + T4 Cp2(\xi, \eta) - T3(Sp2(\xi, \eta) + \delta Sp2(\xi, \eta) + \delta dSp2(\xi, \eta))$$

$$Bp2(\xi, \eta) := T3(\omega 0(\xi, \eta) \cdot \omega 0p3(\xi, \eta) + 3 \cdot \omega 0p1(\xi, \eta) \cdot \omega 0p2(\xi, \eta)) + Bd2(\xi, \eta) + Bt2(\xi, \eta)$$

$$Bd3(\xi, \eta) := T2 \omega 0p3(\xi, \eta) + T4 Cp3(\xi, \eta) \dots \\ + -T3(Sp3(\xi, \eta) + \delta Sp3(\xi, \eta) + \delta dSp3(\xi, \eta) - \omega 0(\xi, \eta) \cdot \omega 0p4(\xi, \eta))$$

$$Bp3(\xi, \eta) := T3(4 \cdot \omega 0p1(\xi, \eta) \cdot \omega 0p3(\xi, \eta) + 3 \cdot \omega 0p2(\xi, \eta) \cdot \omega 0p2(\xi, \eta)) + Bd3(\xi, \eta) + Bt3(\xi, \eta)$$

$$Bd4(\xi, \eta) := T3(5 \cdot \omega 0p1(\xi, \eta) \cdot \omega 0p4(\xi, \eta) + 10 \cdot \omega 0p2(\xi, \eta) \cdot \omega 0p3(\xi, \eta) + \omega 0(\xi, \eta) \cdot \omega 0p5(\xi, \eta))$$

$$Bp4(\xi, \eta) := Bd4(\xi, \eta) + T2 \omega 0p4(\xi, \eta) + T4 Cp4(\xi, \eta) - T3(Sp4(\xi, \eta) + \delta Sp4(\xi, \eta) + \delta dSp4(\xi, \eta)) + Bt4(\xi, \eta)$$

$$Bd5(\xi, \eta) := T3(5 \cdot \omega 0p1(\xi, \eta) \cdot \omega 0p4(\xi, \eta) + 10 \cdot \omega 0p2(\xi, \eta) \cdot \omega 0p3(\xi, \eta) + \omega 0(\xi, \eta) \cdot \omega 0p5(\xi, \eta))$$

$$Bp5(\xi, \eta) := Bd5(\xi, \eta) + T2 \omega 0p5(\xi, \eta) + T4 Cp5(\xi, \eta) - [T3(Sp5(\xi, \eta) + \delta Sp5(\xi, \eta) + \delta dSp5(\xi, \eta))] + Bt5(\xi, \eta)$$

$$M0_0 := B(0, -1) \quad M0_1 := B(-tb, -1) \quad M0_2 := B(-td, -1) \quad M0_3 := \overline{B(0, -1)} \quad M0_4 := \overline{B(-tb, -1)} \quad M0_5 := \overline{B(-td, -1)}$$

$$n1(\xi, \eta) := \frac{-a1}{((\zeta(\xi, \eta) - i))^2} \quad n1p1(\xi, \eta) := \frac{2 \cdot a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^3} \quad n1p3(\xi, \eta) := \frac{24 \cdot a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^5} \quad n1p2(\xi, \eta) := \frac{-6 \cdot a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^4}$$

$$nb(\xi, \eta) := \frac{-b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^2} \quad n1p4(\xi, \eta) := \frac{-120 \cdot a1}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^6} \quad nbp1(\xi, \eta) := \frac{2 \cdot b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^3}$$

$$nbp2(\xi, \eta) := \frac{-6 \cdot b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^4} \quad nbp3(\xi, \eta) := \frac{24 \cdot b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^5} \quad nbp4(\xi, \eta) := \frac{-120 \cdot b1}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^6}$$

$$nd(\xi, \eta) := \frac{-d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^2} \quad ndp2(\xi, \eta) := \frac{-6 \cdot d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^4} \quad ndp1(\xi, \eta) := \frac{2 \cdot d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^3}$$

$$ndp4(\xi, \eta) := \frac{-120 \cdot d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^6} \quad ndp3(\xi, \eta) := \frac{24 \cdot d1}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^5}$$

Значения полюсов функции $\Phi(\zeta)$ определяются как решения системы шести линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}
M_{0,1} &:= 0 \quad M_{0,2} := 0 \quad M_{0,3} := n1(0, -1) \quad M_{0,4} := nb(0, -1) \quad M_{0,0} := \wp1(0, -1) \quad M_{0,5} := nd(0, -1) \\
M_{1,0} &:= 0 \quad M_{1,1} := \wp1(-tb, -1) \quad M_{1,2} := 0 \quad M_{1,3} := n1(-tb, -1) \quad M_{1,4} := nb(-tb, -1) \quad M_{1,5} := nd(-tb, -1) \\
M_{2,0} &:= 0 \quad M_{2,1} := 0 \quad M_{2,2} := \wp1(-td, -1) \quad M_{2,3} := n1(-td, -1) \quad M_{2,4} := nb(-td, -1) \quad M_{2,5} := nd(-td, -1) \\
M_{3,0} &:= \overline{M_{0,3}} \quad M_{3,1} := \overline{M_{0,4}} \quad M_{3,2} := \overline{M_{0,5}} \quad M_{3,3} := \overline{M_{0,0}} \quad M_{3,5} := \overline{M_{0,2}} \quad M_{3,4} := \overline{M_{0,1}} \quad M_{4,0} := \overline{M_{1,3}} \\
M_{4,1} &:= \overline{M_{1,4}} \quad M_{4,2} := \overline{M_{1,5}} \quad M_{4,3} := \overline{M_{1,0}} \quad M_{4,4} := \overline{M_{1,1}} \quad M_{4,5} := \overline{M_{1,2}} \quad M_{5,0} := \overline{M_{2,3}} \quad M_{5,1} := \overline{M_{2,4}} \\
M_{5,2} &:= \overline{M_{2,5}} \quad M_{5,3} := \overline{M_{2,0}} \quad M_{5,4} := \overline{M_{2,1}} \quad M_{5,5} := \overline{M_{2,2}} \quad \Lambda := M^{-1} \cdot M \Phi(0, -1) = -114 - 92.4i \\
\Phi 0 &:= \Lambda_{0,0} \quad \Phi 0tb := \Lambda_{1,0} \quad \Phi 0td := \Lambda_{2,0} \quad K1 := \overline{a1} \cdot \Phi 0 \quad \Phi 0c := \overline{\Phi 0} \quad K2 := \overline{b1} \cdot \Phi 0tb \quad K3 := \overline{d1} \cdot \Phi 0td
\end{aligned}$$

$$G(\xi, \eta) := n1(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0} + nb(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0tb} + nd(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0td}$$

$$Gp1(\xi, \eta) := n1p1(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0} + nbp1(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0tb} + ndp1(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0td}$$

$$Gp2(\xi, \eta) := n1p2(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0} + nbp2(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0tb} + ndp2(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0td}$$

$$Gp3(\xi, \eta) := n1p3(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0} + nbp3(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0tb} + ndp3(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0td}$$

$$Gp4(\xi, \eta) := n1p4(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0} + nbp4(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0tb} + ndp4(\xi, \eta) \cdot \overline{\Phi 0td}$$

$$G1(\xi, \eta) := \frac{-\overline{K1}}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^2} + \frac{-\overline{K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^2} + \frac{-\overline{K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^2}$$

$$G1p1(\xi, \eta) := \frac{2 \cdot \overline{K1}}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^3} + \frac{2 \cdot \overline{K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^3} + \frac{2 \cdot \overline{K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^3}$$

$$G1p2(\xi, \eta) := \frac{-6 \cdot \overline{K1}}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^4} + \frac{-6 \cdot \overline{K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^4} + \frac{-6 \cdot \overline{K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^4}$$

$$G1p3(\xi, \eta) := \frac{24 \cdot \overline{K1}}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^5} + \frac{24 \cdot \overline{K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^5} + \frac{24 \cdot \overline{K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^5}$$

$$G1p4(\xi, \eta) := \frac{-120 \cdot \overline{K1}}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^6} + \frac{-120 \cdot \overline{K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^6} + \frac{-120 \cdot \overline{K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^6}$$

$$G1p5(\xi, \eta) := \frac{720 \cdot \overline{K1}}{(\zeta(\xi, \eta) - i)^7} + \frac{720 \cdot \overline{K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb - i)^7} + \frac{720 \cdot \overline{K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td - i)^7}$$

$$\Phi(\xi, \eta) := \frac{(B(\xi, \eta) - G(\xi, \eta))}{\omega p1(\xi, \eta)} \quad \Phi p1(\xi, \eta) := \frac{Bp1(\xi, \eta) - Gp1(\xi, \eta) - \Phi(\xi, \eta) \cdot \omega 0p2(\xi, \eta)}{\omega p1(\xi, \eta)}$$

$$\Phi p2(\xi, \eta) := \frac{Bp2(\xi, \eta) - Gp2(\xi, \eta) - \Phi(\xi, \eta) \cdot \omega 0p3(\xi, \eta) - 2 \cdot \Phi p1(\xi, \eta) \cdot \omega 0p2(\xi, \eta)}{\omega p1(\xi, \eta)}$$

$$D1(\xi, \eta) := Bp3(\xi, \eta) - Gp3(\xi, \eta) - 3 \cdot \Phi p2(\xi, \eta) \cdot \omega 0p2(\xi, \eta)$$

$$D2(\xi, \eta) := D1(\xi, \eta) - 3 \cdot \Phi p1(\xi, \eta) \cdot \omega 0p3(\xi, \eta) - \Phi(\xi, \eta) \cdot \omega 0p4(\xi, \eta)$$

$$\Phi p3(\xi, \eta) := \frac{D2(\xi, \eta)}{\omega p1(\xi, \eta)} \quad \Phi(0, -1) = -114 - 92.4i \quad \Phi(-tb, -1) = -150 - 67.8i \quad \Phi(-td, -1) = -176.5 - 19.4i$$

$$\omega 0c(\xi, \eta) := \frac{\overline{a1}}{\zeta(\xi, \eta) + i} + \frac{\overline{b1}}{\zeta(\xi, \eta) + tb + i} + \frac{\overline{d1}}{\zeta(\xi, \eta) + td + i}$$

$$\omega 02c(\xi, \eta) := \frac{\overline{a1}}{\zeta(\xi, \eta) + i} + \frac{\overline{d1}}{\zeta(\xi, \eta) + td + i}$$

$$\omega 0cp1(\xi, \eta) := \frac{\overline{-a1}}{(\zeta(\xi, \eta) + i)^2} + \frac{\overline{-b1}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb + i)^2} + \frac{\overline{-d1}}{(\zeta(\xi, \eta) + td + i)^2}$$

$$\omega 02cp1(\xi, \eta) := \frac{\overline{-a1}}{(\zeta(\xi, \eta) + i)^2} + \frac{\overline{-d1}}{(\zeta(\xi, \eta) + td + i)^2} \quad \omega 01c(\xi, \eta) := \frac{\overline{b1}}{\zeta(\xi, \eta) + tb + i} + \frac{\overline{d1}}{\zeta(\xi, \eta) + td + i}$$

$$\omega 01cp1(\xi, \eta) := \frac{\overline{-b1}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb + i)^2} + \frac{\overline{-d1}}{(\zeta(\xi, \eta) + td + i)^2} \quad \omega 03c(\xi, \eta) := \frac{\overline{a1}}{\zeta(\xi, \eta) + tb + i} + \frac{\overline{b1}}{\zeta(\xi, \eta) + tb + i}$$

$$\omega 03cp1(\xi, \eta) := \frac{\overline{-a1}}{(\zeta(\xi, \eta) + i)^2} + \frac{\overline{-b1}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb + i)^2} \quad \text{coefa2} := \frac{\overline{a1} \cdot \Phi p3(0, -1)}{3} \quad \text{coefb2} := \frac{\overline{b1} \cdot \Phi p3(-tb, -1)}{3}$$

$$Gc(\xi, \eta) := \frac{\overline{-K1}}{(\zeta(\xi, \eta) + i)^2} + \frac{\overline{-K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb + i)^2} + \frac{\overline{-K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td + i)^2} \quad \text{coefb1} := \frac{\overline{b1} \cdot \Phi p2(-tb, -1)}{2}$$

$$\text{coefd2} := \frac{\overline{d1} \cdot \Phi p3(-td, -1)}{3} \quad \text{coefd1} := \frac{\overline{d1} \cdot \Phi p2(-td, -1)}{2}$$

$$Gc1(\xi, \eta) := \frac{\overline{-K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb + i)^2} + \frac{\overline{-K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td + i)^2} - \text{coefa1} - \text{coefa2} \cdot (\zeta(\xi, \eta) + i)$$

$$Gc2(\xi, \eta) := \frac{\overline{-K1}}{(\zeta(\xi, \eta) + i)^2} + \frac{\overline{-K3}}{(\zeta(\xi, \eta) + td + i)^2} - \text{coefb1} - \text{coefb2} \cdot (\zeta(\xi, \eta) + tb + i)$$

$$Gc3(\xi, \eta) := \frac{\overline{-K1}}{(\zeta(\xi, \eta) + i)^2} + \frac{\overline{-K2}}{(\zeta(\xi, \eta) + tb + i)^2} - \text{coefd1} - \text{coefd2} \cdot (\zeta(\xi, \eta) + td + i)$$

$$D3(\xi, \eta) := A(\xi, \eta) - a \cdot \Phi(\xi, \eta) - a \cdot \zeta(\xi, \eta) \cdot \Phi p1(\xi, \eta)$$

$$D4(\xi, \eta) := -\omega 0cp1(\xi, \eta) \cdot \Phi(\xi, \eta) - \omega 0c(\xi, \eta) \cdot \Phi p1(\xi, \eta) + Gc(\xi, \eta)$$

$$D\Psi_3(\xi, \eta) := \begin{cases} D\Psi_3 \leftarrow -\omega_{01}c_{p1}(\xi, \eta) \cdot \Phi(\xi, \eta) - \omega_{01}c(\xi, \eta) \cdot \Phi_{p1}(\xi, \eta) + Gc1(\xi, \eta) & \text{if } |\zeta(\xi, \eta) + i| \leq 0.3 \\ D\Psi_3 \leftarrow -\omega_{02}c_{p1}(\xi, \eta) \cdot \Phi(\xi, \eta) - \omega_{02}c(\xi, \eta) \cdot \Phi_{p1}(\xi, \eta) + Gc2(\xi, \eta) & \text{if } |\zeta(\xi, \eta) + tb + i| \leq 0.3 \\ D\Psi_3 \leftarrow -\omega_{03}c_{p1}(\xi, \eta) \cdot \Phi(\xi, \eta) - \omega_{03}c(\xi, \eta) \cdot \Phi_{p1}(\xi, \eta) + Gc3(\xi, \eta) & \text{if } |\zeta(\xi, \eta) + td + i| \leq 0.3 \\ D\Psi_3 \leftarrow D4(\xi, \eta) & \text{if } [|\zeta(\xi, \eta) + i| > 0.3 \wedge (|\zeta(\xi, \eta) + tb + i| \wedge |\zeta(\xi, \eta) + td + i|) > 0.3] \\ D\Psi_3 & \end{cases}$$

$$Y(\xi, \eta) := \text{Im}(\omega(\xi, \eta)) \quad X(\xi, \eta) := \text{Re}(\omega(\xi, \eta)) \quad \Psi(\xi, \eta) := \frac{D3(\xi, \eta) + D\Psi_3(\xi, \eta)}{\omega_{p1}(\xi, \eta)}$$

$$SX(\xi, \eta) := 4 \text{Re}(\Phi(\xi, \eta))$$

$$SXI(\xi, \eta) := 2 \cdot \left(\overline{\omega(\xi, \eta)} \cdot \frac{\Phi_{p1}(\xi, \eta)}{\omega_{p1}(\xi, \eta)} + \Psi(\xi, \eta) \right) \quad \tau_{xy}(\xi, \eta) := \frac{\text{Im}(SXI(\xi, \eta))}{2} + A3 \cdot Y(\xi, \eta)$$

$$\sigma_x(\xi, \eta) := \frac{(SX(\xi, \eta) - \text{Re}(SXI(\xi, \eta)))}{2} + A1 \cdot Y(\xi, \eta) + T;$$

$$\sigma_y(\xi, \eta) := \frac{SX(\xi, \eta) + \text{Re}(SXI(\xi, \eta))}{2} + A2 \cdot Y(\xi, \eta)$$

$$\sigma_{\eta}(\xi, \eta) := \frac{\sigma_x(\xi, \eta) + \sigma_y(\xi, \eta)}{2} - \frac{\sigma_x(\xi, \eta) - \sigma_y(\xi, \eta)}{2} \cdot \text{Re}\left(\frac{\omega_{p1}(\xi, \eta)}{\omega_{p1}(\xi, \eta)}\right) - \tau_{xy}(\xi, \eta) \cdot \text{Im}\left(\frac{\omega_{p1}(\xi, \eta)}{\omega_{p1}(\xi, \eta)}\right)$$

$$\tau_{\xi\eta}(\xi, \eta) := -\frac{\sigma_x(\xi, \eta) - \sigma_y(\xi, \eta)}{2} \cdot \text{Im}\left(\frac{\omega_{p1}(\xi, \eta)}{\omega_{p1}(\xi, \eta)}\right) + \tau_{xy}(\xi, \eta) \cdot \text{Re}\left(\frac{\omega_{p1}(\xi, \eta)}{\omega_{p1}(\xi, \eta)}\right)$$

$$\sigma_{\xi}(\xi, \eta) := \frac{\sigma_x(\xi, \eta) + \sigma_y(\xi, \eta)}{2} + \frac{\sigma_x(\xi, \eta) - \sigma_y(\xi, \eta)}{2} \cdot \text{Re}\left(\frac{\omega_{p1}(\xi, \eta)}{\omega_{p1}(\xi, \eta)}\right) - \tau_{xy}(\xi, \eta) \cdot \text{Im}\left(\frac{\omega_{p1}(\xi, \eta)}{\omega_{p1}(\xi, \eta)}\right)$$

$$\sigma_1(\xi, \eta) := \frac{\sigma_x(\xi, \eta) + \sigma_y(\xi, \eta)}{2} + \frac{\sqrt{(\sigma_y(\xi, \eta) - \sigma_x(\xi, \eta))^2 + 4 \tau_{xy}(\xi, \eta)^2}}{2}$$

$$\sigma_2(\xi, \eta) := \frac{\sigma_x(\xi, \eta) + \sigma_y(\xi, \eta)}{2} - \frac{\sqrt{(\sigma_y(\xi, \eta) - \sigma_x(\xi, \eta))^2 + 4 \tau_{xy}(\xi, \eta)^2}}{2}$$

$$\tau_{\max}(\xi, \eta) := \frac{\sqrt{(\sigma_y(\xi, \eta) - \sigma_x(\xi, \eta))^2 + 4 \tau_{xy}(\xi, \eta)^2}}{2}$$

Для достоверности созданной аналитической модели выполнен расчет компонентов напряжений в контурных точках склона горы с уступами, т.е. при значении аргумента

$$\begin{aligned} \text{Cont}_{0,3} &:= "cig\ 1" \quad \text{Cont}_{0,1} := "x" \quad \text{Cont}_{0,0} := "t" \quad \text{Cont}_{0,7} := "Tmax" \quad \text{Cont}_{0,4} := "L=0" \quad \text{Cont}_{0,5} := "N" \\ \text{Cont}_{k,3} &:= \sigma_1(k-6, 0) \quad \text{Cont}_{k,0} := k - \epsilon \quad \text{Cont}_{k,1} := X(k-6, 0) \quad \text{Cont}_{k,6} := \tau_{\xi\eta}(k-6, 0) \quad \text{Cont}_{k,4} := \sigma_2(k-6, 0) \\ \text{Cont}_{k,5} &:= \sigma_{\eta}(k-6, 0) \quad \text{Cont}_{k,7} := \sigma_{\xi}(k-6, 0) \quad \text{Cont}_{k,2} := Y(k-6, 0) \end{aligned}$$

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Первый столбец содержит порядковый номер точек контура, где произведено вычисление. Во втором столбце-абсциссы, в третьем ординаты контурных точек. Главные σ_1 и σ_2 нормальные напряжения размещены соответственно в третьем и в четвертом столбцах. Нормальные и касательные к контуру компоненты напряжений в пятом и шестом столбцах. В последнем столбце размещена максимальная касательная компонента.

Анализ значений указывает, что σ_1 , N , T равны нулю во всех точках контура, что соответствует действительности, так как дневная поверхность склона горы с уступами свободна от внешних нагрузок. Концентрация напряжений σ_2 и $T_{\max}$ наблюдаются во всех четырех зонах сопряжения уступов со склонами гор. Более объективное и дифференцированное прогнозирование вероятных зон разрушения массивов склонов гор с уступами производится на основании анализа распределения накопленной упругой энергии деформации P , энергия изменения объема P_o , энергия изменения форм P_ϕ элементарного объема горного массива. Эти величины при плоском деформированном состоянии массива определяются соотношениями:

$$P\alpha(\xi, \eta) := \frac{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}{2 \cdot E} \cdot \sigma_0(\xi, \eta)^2 \quad \sigma_0(\xi, \eta) := \frac{(\sigma_1(\xi, \eta) + \sigma_2(\xi, \eta) + \sigma_3(\xi, \eta))}{3}$$

$$\tau_0(\xi, \eta) := \sqrt{(\sigma_1(\xi, \eta) - \sigma_2(\xi, \eta))^2 + (\sigma_2(\xi, \eta) - \sigma_3(\xi, \eta))^2 + (\sigma_3(\xi, \eta) - \sigma_1(\xi, \eta))^2}$$

$$P\phi(\xi, \eta) := \frac{3 \cdot (1 + \nu)}{2 \cdot E} \cdot \tau_0(\xi, \eta)^2 \quad P(\xi, \eta) := P\alpha(\xi, \eta) + P\phi(\xi, \eta)$$

Для построения изолиний распределения для трех видов удельных энергий в каждой точке массива образуем тригонометрические вектора.

$$Pov(\xi, \eta) := \begin{pmatrix} X(\xi, \eta) \\ Y(\xi, \eta) \\ P(\xi, \eta) \end{pmatrix} \quad P\phi ov(\xi, \eta) := \begin{pmatrix} X(\xi, \eta) \\ Y(\xi, \eta) \\ P\phi(\xi, \eta) \end{pmatrix} \quad P\phi ov(\xi, \eta) := \begin{pmatrix} X(\xi, \eta) \\ Y(\xi, \eta) \\ P\phi(\xi, \eta) \end{pmatrix}$$

Таблица 1.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"t"	"x"	"y"	"cig-1"	Cig2	"N"	"T"	"Tmax"
1	-5	-877	23.37	$1 \cdot 10^{-15}$	-111.53	$4 \cdot 10^{-15}$	0	-110.2
2	-4	-762.7	31.54	$3 \cdot 10^{-14}$	-1616	$9 \cdot 10^{-14}$	$5.3 \cdot 10^{-15}$	-155.4
3	-3	-657.4	45.45	$7 \cdot 10^{-14}$	-257.24	$3 \cdot 10^{-14}$	$7.1 \cdot 10^{-15}$	-223
4	-2	-566.1	73.32	$8 \cdot 10^{-14}$	-425.6	05	$7 \cdot 10^{-14}$	-155.6
5	-1	-488.1	142.62	$8 \cdot 10^{-14}$	-260.81	$4 \cdot 10^{-14}$	$3.6 \cdot 10^{-15}$	-15.4
6	0	-335.5	266.43	$6 \cdot 10^{-14}$	-97.84	$1 \cdot 10^{-14}$	$2.5 \cdot 10^{-14}$	-68.5
7	1	-208.1	298.41	$7 \cdot 10^{-13}$	-575.1	$2 \cdot 10^{-13}$	$1.7 \cdot 10^{-13}$	-219.1
8	2	-65.1	508.43	$6 \cdot 10^{-14}$	-68.93	$6 \cdot 10^{-14}$	$7.1 \cdot 10^{-15}$	-11.1
9	3	179.6	572.86	$8 \cdot 10^{-13}$	-6396	$3 \cdot 10^{-13}$	$7.7 \cdot 10^{-13}$	-98.8
10'	4	483.3	952.8	$8 \cdot 10^{-14}$	-69.72	$8 \cdot 10^{-14}$	$7.1 \cdot 10^{-15}$	-25.4
11'	5	$1.3 \cdot 10^3$	675.52	$1 \cdot 10^{-14}$	-106.51	$4 \cdot 10^{-14}$	$2.1 \cdot 10^{-14}$	-35.5
12'	6	$1.4 \cdot 10^3$	2682	$8 \cdot 10^{-14}$	-442.92	$2 \cdot 10^{-14}$	$9.6 \cdot 10^{-14}$	-442.9
13'	7	$1.4 \cdot 10^3$	130.72	$3 \cdot 10^{-13}$	$-1.4 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{-13}$	$1.7 \cdot 10^{-13}$	-565.8
14'	8	$1.4 \cdot 10^3$	76.35	$7 \cdot 10^{-14}$	-978.25	$7 \cdot 10^{-14}$	$6.3 \cdot 10^{-13}$	-360.8
15'	9	$1.5 \cdot 10^3$	49.92	$8 \cdot 10^{-14}$	-462.8	$5 \cdot 10^{-14}$	$7.1 \cdot 10^{-14}$	-392.5
16'	10	$1.6 \cdot 10^3$	35.25	$7 \cdot 10^{-14}$	-260.5	$7 \cdot 10^{-14}$	0	-249.2
17'	11	$1.7 \cdot 10^3$	26.17	$1 \cdot 10^{-14}$	-1686	$5 \cdot 10^{-14}$	$3.6 \cdot 10^{-15}$	-165.4
18'	12	$1.8 \cdot 10^3$	20.22	$1 \cdot 10^{-14}$	-118.38	$7 \cdot 10^{-15}$	$2.4 \cdot 10^{-14}$	-117.5
19'	13	$2 \cdot 10^3$	16.17	$1 \cdot 10^{-15}$	-88.32	$8 \cdot 10^{-15}$	$3.9 \cdot 10^{-14}$	-88
20'	14	$2.1 \cdot 10^3$	13.12	$1 \cdot 10^{-14}$	-68.72	$2 \cdot 10^{-14}$	$3.3 \cdot 10^{-15}$	-68.6
21'	15	$2.2 \cdot 10^3$	10.97	$1 \cdot 10^{-15}$	-55.13	$5 \cdot 10^{-15}$	$3.2 \cdot 10^{-15}$	-55.1
22'	16	$2.4 \cdot 10^3$	9.23	$6 \cdot 10^{-15}$	-45.35	$3 \cdot 10^{-15}$	$1.2 \cdot 10^{-14}$	-45.3
23'	17	$2.5 \cdot 10^3$	7.93	$6 \cdot 10^{-15}$	-383	$7 \cdot 10^{-15}$	$3.3 \cdot 10^{-14}$	-37.9
24'	18	$2.6 \cdot 10^3$	6.83	$6 \cdot 10^{-15}$	-32.32	$3 \cdot 10^{-15}$	$2.7 \cdot 10^{-14}$	-32.3
25'	19	$2.8 \cdot 10^3$	65	$3 \cdot 10^{-15}$	-27.82	$8 \cdot 10^{-15}$	$8.4 \cdot 10^{-15}$	-27.8

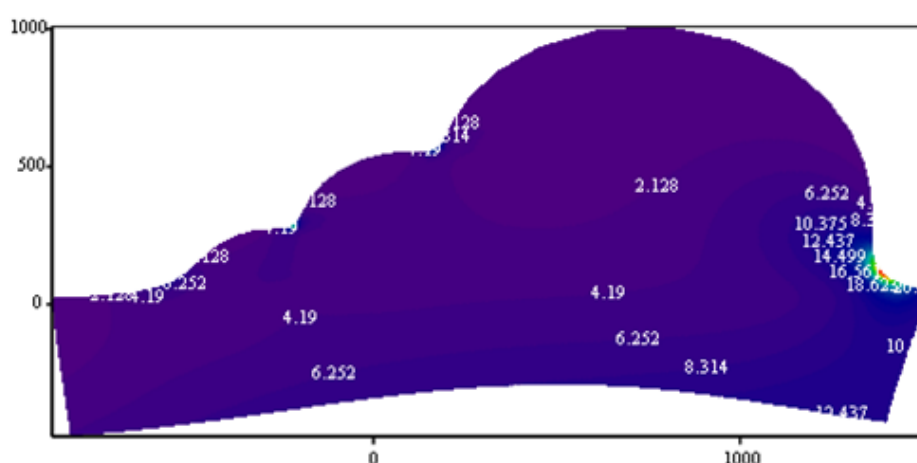


Рис 1. Общая энергия деформации

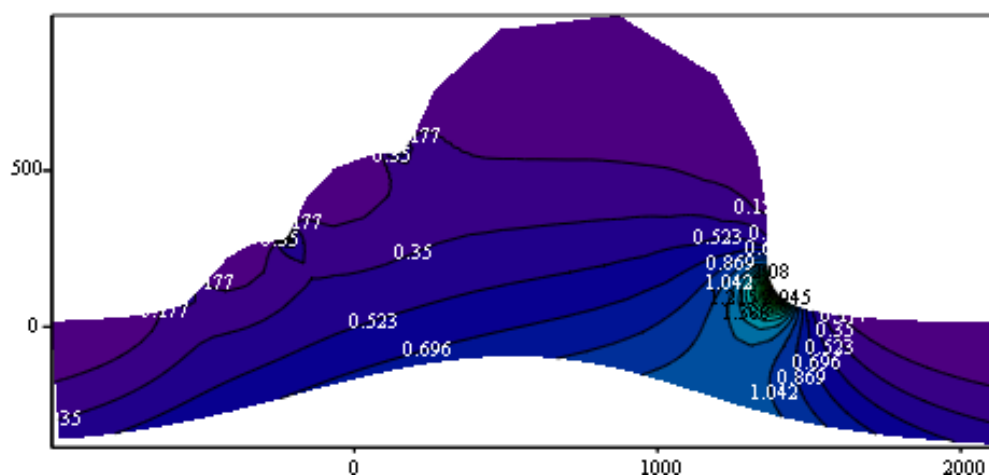


Рис. 2. Энергия изменения объёма

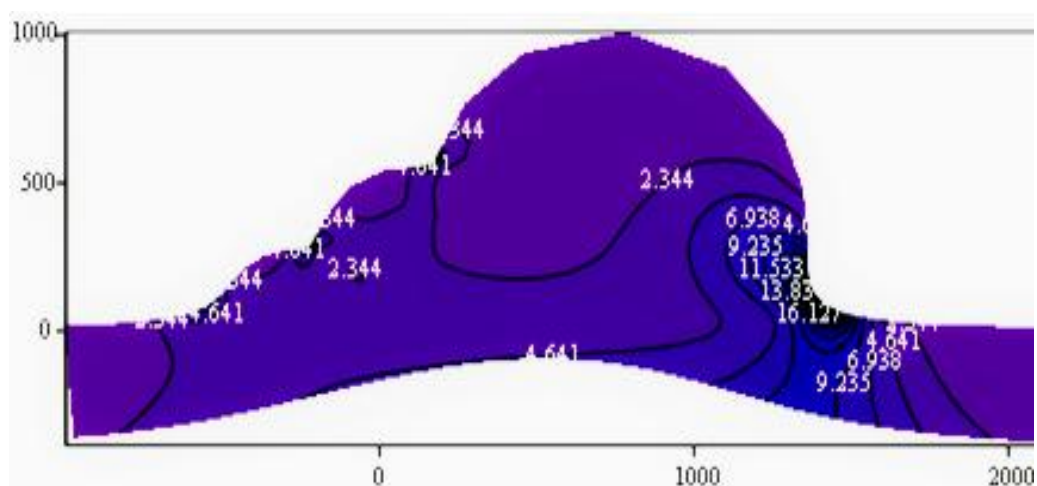


Рис. 3. Энергия изменения формы

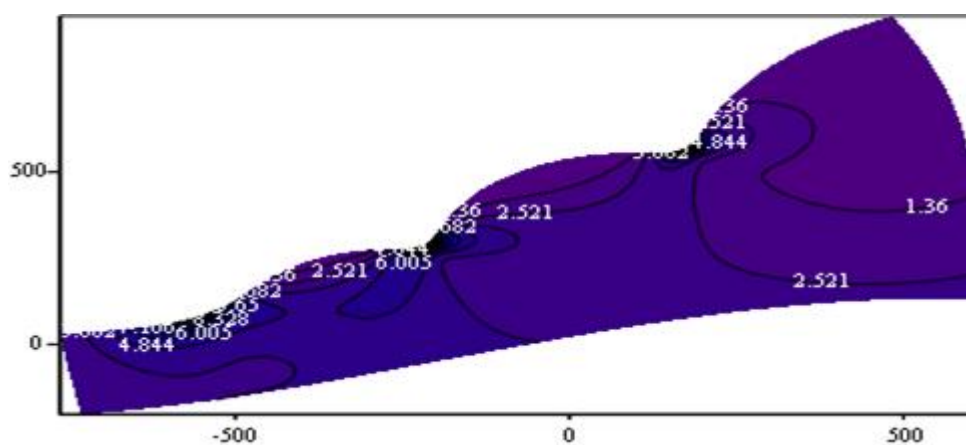
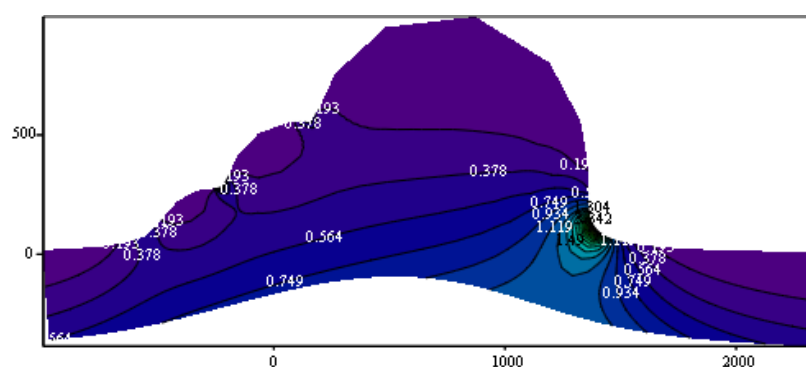


Таблица 2.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	"t"	"x"	"y"	"cig-1"	"cig-2"	"N"	"T"	"Tmax"
1	-5	-877	23.3	0	-168.11	$2 \cdot 10^{-14}$	$6 \cdot 10^{-14}$	-166.1
2	-4	-762.7	31.51	$4 \cdot 10^{-14}$	-222.53	$7 \cdot 10^{-14}$	$3 \cdot 10^{-14}$	-214.9
3	-3	-657.4	45.42	$8 \cdot 10^{-14}$	-327.11	$8 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-14}$	-283.5
4	-2	-566.1	73.38	$5 \cdot 10^{-14}$	-500.85	$7 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{-14}$	-183.1
5	-1	-488.1	142.62	$8 \cdot 10^{-14}$	-287.5	07	$1 \cdot 10^{-15}$	-17
6	0	-335.5	266.4	0	-105.81	$4 \cdot 10^{-14}$	$3 \cdot 10^{-14}$	-74.1
7	1	-208.1	298.42	$3 \cdot 10^{-13}$	-598.42	$3 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-13}$	-227.9
8	2	-65.1	508.42	$8 \cdot 10^{-14}$	-68.82	$1 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14}$	-11.1
9	3	179.6	572.81	$7 \cdot 10^{-13}$	-635.51	$7 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-13}$	-98.3
10	4	483.3	9522	$8 \cdot 10^{-14}$	-67.12	$1 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14}$	-24.5
11	5	$1.3 \cdot 10^3$	675.57	$1 \cdot 10^{-15}$	-102.62	$1 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14}$	-34.3
12	6	$1.4 \cdot 10^3$	2681	$1 \cdot 10^{-13}$	-436.71	$2 \cdot 10^{-13}$	$2 \cdot 10^{-14}$	-436.7
13	7	$1.4 \cdot 10^3$	130.71	$1 \cdot 10^{-13}$	$-1.4 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-13}$	0	-580.1
14	8	$1.4 \cdot 10^3$	76.34	$5 \cdot 10^{-13}$	$-1.1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{-13}$	-389.9
15	9	$1.5 \cdot 10^3$	49.91	$7 \cdot 10^{-13}$	-533.11	$8 \cdot 10^{-13}$	0	-452.1
16	10	$1.6 \cdot 10^3$	35.22	$8 \cdot 10^{-14}$	-322.64	$3 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-13}$	-308.6
17	11	$1.7 \cdot 10^3$	26.1	0	-225.21	$3 \cdot 10^{-14}$	$5 \cdot 10^{-15}$	-221.7
18	12	$1.8 \cdot 10^3$	20.24	$3 \cdot 10^{-14}$	-172.43	$7 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14}$	-171.3
19	13	$2 \cdot 10^3$	16.11	$4 \cdot 10^{-14}$	-140.43	$7 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{-14}$	-139.9
20	14	$2.1 \cdot 10^3$	13.17	$1 \cdot 10^{-15}$	-119.45	$8 \cdot 10^{-15}$	$1 \cdot 10^{-15}$	-119.2
21	15	$2.2 \cdot 10^3$	10.97	$1 \cdot 10^{-15}$	-104.82	$7 \cdot 10^{-15}$	$8 \cdot 10^{-15}$	-104.7
22	16	$2.4 \cdot 10^3$	9.27	$1 \cdot 10^{-15}$	-94.21	$6 \cdot 10^{-14}$	$3 \cdot 10^{-15}$	-94.2
23	17	$2.5 \cdot 10^3$	7.9	0	-86.3	02	$4 \cdot 10^{-14}$	-86.2
24	18	$2.6 \cdot 10^3$	6.87	$1 \cdot 10^{-15}$	-80.25	$5 \cdot 10^{-15}$	$1 \cdot 10^{-14}$	-80.1
25	19	$2.8 \cdot 10^3$	61	$4 \cdot 10^{-14}$	-75.34	$1 \cdot 10^{-15}$	$4 \cdot 10^{-15}$	-75.3



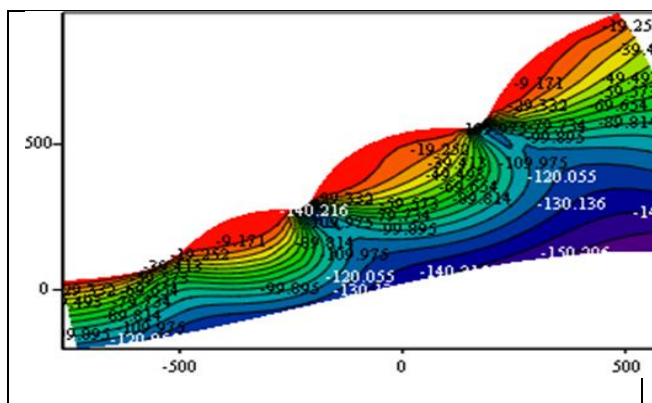


Рис .6. σ_1 в зоне уступа

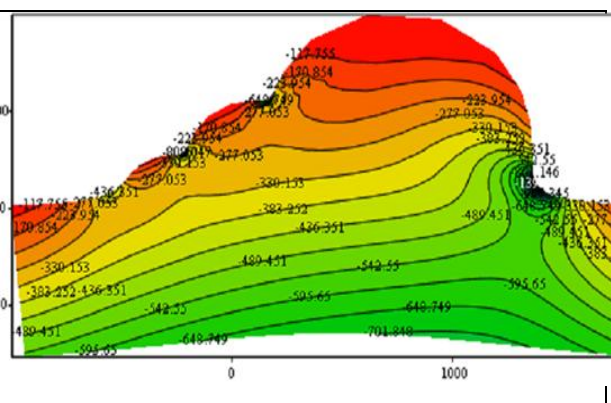


Рис. 7. Нормальная σ_2

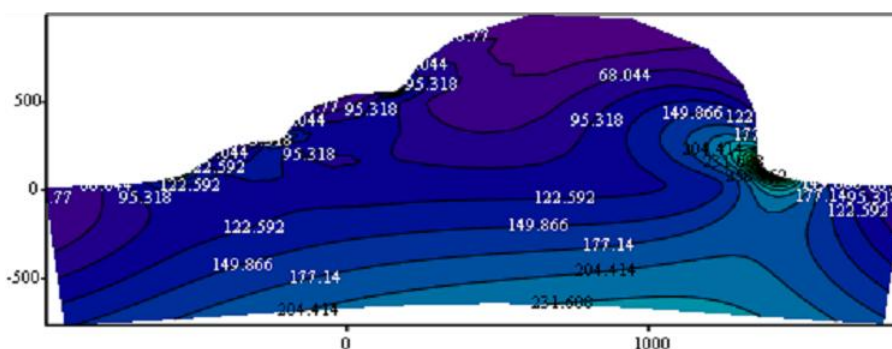


Рис. 8. $T_{\max}$

ЛИТЕРАТУРА

1. Жумабаев Б., Баялиева Ж.А. Методика расчета напряженно-деформированного состояния массивов у основания дорог, расположенных в горном склоне. Известия КГТУ им. И.Раззакова, №14/2008.с.206-210.
2. Кирьянов Д.В. Матсад 14. –СПб.: БХВ-Петербург.-704с.
3. Жумабаев Б.,Баялиева Ж.А. Начальное напряженное состояние массивов пород у оснований дорог, расположенных в склоне гор. Вестник КАУ, 2008, №3(11), с.357-361
4. Жумабаев Б.Ж., Баялиева Ж.А. Концентрация напряжений вблизи уступов, расположенных в склоне гор. Исследования, результаты. Научный журнал КНАУ, №1(049) Алматы, 2011г. с.139-144.

УЧЕТ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО БЛОКА

Куваков С. Ж.

ИГиОН НАН КР

Одним из важных параметров при изучении естественных геологических условий месторождений, является трещиноватость горных пород в массиве (рис.1). С точки зрения численного моделирования существует три подхода представления трещиноватых массивов: а) моделирование трещины по теории контакт-элементов; б) трещиноватый массив аппроксимируется сплошной средой; в) трещины рассматриваются как отдельный бесконечно-малый слой массива или трещины заполненные породами, свойства которого отличаются от свойств пород в массиве (сплошной среды)/1-3/. В первом случае трещиноватый массив моделируется следующим образом: трещина рассматривается как линия с определенными номерами узлов и при поведении зоны трещины под действием природных или техногенных факторов может раскрыться или произойти сдвиг, после чего вместо одного образуется две отдельные узлы/3/. А во втором случае трещиноватость массива и трещины не учитывается т.е. рассматривается как сплошная среда. В третьем случае трещину рассматривают как отдельный слой массива, где имеют свои физико-механические свойства. Р.Гудман предложил специальную теорию контакт-элементов. Контакт элемент показан на

рис.2. где 1, 2, 3 и 4 – узлы, в которых пары узлов 1 и 4, 2 и 3 имеют одинаковые координаты т.е. элемент имеет нулевое раскрытие/3/.

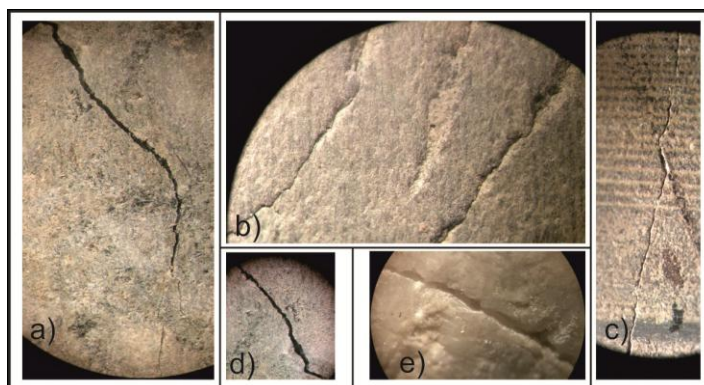


Рис 1. Виды трещины образцов горных пород: а),d), е) – трещины открытого характера; б), с) – залеченные трещины; снимки были сняты с помощью микроскопа МБС-10 СССР с 56-кратным увеличением.

Если рассмотреть нетронутый массив, то трещины выявляются при естественном разрушении горных пород т.е. при разрыве связей между атомами и ионами в кристаллической решетке, происходящие вдоль геологической границы, заложенной ранее другими процессами(см. рис.2). Различают три вида трещины: а) открытые или раскрывшиеся трещины – когда внутреннее пространство заполнено газом или жидкостью; б) заполненные трещины – случай, когда во внутреннем пространстве находятся песчаные, крупнообломочные, пылеватые или глинистые отложения; в) при наличии в трещине прочного минерального заполнителя(кальцит, кварц) – залеченные трещины/4/.Геометрическими параметрами трещины может служить глубина, протяженность по поверхности массива и ширина разрыва трещины.

В работе выполнена моделирование НДС блока с помощью программы Plaxis8. Рассмотрим геометрическую модель блока горной породы размерами 20х20х20 метров, имеющая трещину открытого характера (см. рис.3-а). Если рассмотреть любые сечения по

плоскости XOY , то мы получим аналогичные характеристики плоского напряженно-деформированного состояния (НДС). По -этому от трехмерного моделирования переходим к двумерному с условием $z=0$ т.е. условия протяженности не учитываем (см. Рис.3-б) и рассмотрим азимут падения трещины относительно направления силы гравитации (оси OY) под углами -60^0 , -45^0 , -30^0 , 0^0 , 30^0 , 45^0 , 60^0 (см. рис.3-в).

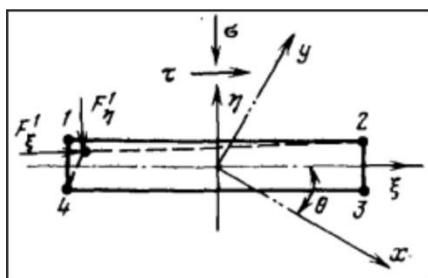


Рис. 2. Схема контакт-элемента Гудмана.

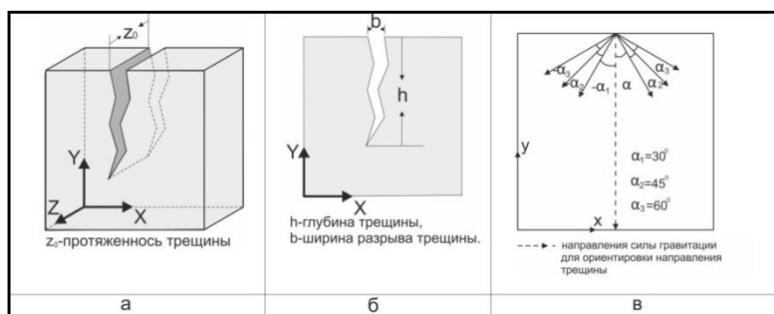


Рис. 3 – а) геометрическая трехмерная модель трещины; б) двумерное представление трещиноватого куба; в) направления трещины относительно оси направления силы гравитации;

Физико-механические свойства горных пород были приняты: объемный вес 26 kN/m^3 ; модуль упругости $1.3 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$; коэффициент Пуассона 0,27; сцепление 5 kN/m^2 ; угол внутреннего трения 43^0 . А геометрия: 20×20 метров; ширина разрыва трещины $b=2 \text{ мм}$, что составляет 0,01% от высоты квадрата; глубина трещины меньше половины высоты рассматриваемого квадрата. Кроме этого были приняты $g=9,8 \text{ м/с}$.

При оценке НДС применим численный метод моделирование – метод конечных элементов(МКЭ)/5,6,7/. Данный метод позволяет аппроксимировать любую непрерывную величину моделью дискретной среды, которая строится на множестве кусочно-непрерывных полиномов(функции), определенных на конечном числе подобластей/5/.

Граничными условиями для рассматриваемого породного блока являются: а) вертикальные геометрические линии у которых координата x равна наименьшему или наибольшему значению координаты x в модели, получают горизонтальное закрепление ($u_x=0$); б) горизонтальные геометрические линии, у которых координата y равна наименьшему или наибольшему значению координаты y в модели, получают полное закрепление ($u_x = u_y=0$). Так же уравнением равновесия будет:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + Y = 0 \quad (1)$$

где X и Y – объемные силы. Но во многих практических задачах единственной объемной силой принимают собственный вес тела/8/, тогда формула (1) принимает вид:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \rho g = 0 \quad (2)$$

А в качестве автоматического расчета воспользуемся программой Plaxis 8. Программа PLAXIS версии 8 может быть использована для выполнения двухмерного конечно-элементного анализа. Существует отдельная программа PLAXIS для трехмерного анализа. Конечные элементы могут использовать как в модели плоской деформации, так и в осесимметричной модели. Программа базировалась на основе метода конечных элементов и объединяет простые процедуры графического ввода, а так же позволяет пользователю автоматически создавать сложные конечно-элементные модели. На основе МКЭ, программа моделирует в двух направлениях: *Planestrain*(плоская деформация) и *Axisymmetry* (оссиметрия). Модель *Planestrain* используется для сооружений с постоянным сечением, имеющим соответствующее напряженное состояние и предполагается, что перемещения и напряжения в направлении оси z равны нулю, но в любом случае нормальные

напряжения в направлении z полностью включены в расчеты. А *Axisymmetry* используется для круговых сооружений с (более или менее) постоянным сечением и равномерной схемой нагружения относительно центральной оси, для которых предполагается, что в любом из направлений деформация и напряженное состояние являются одинаковыми. Для нашего случая воспользуемся моделью плоской деформации.

Расчеты по деформационным характеристикам показали, что главные деформационные характеристики в случаях угла падения трещины -30° , 0° , 30° и 45° являются наиболее опасными, способствующие обрушению, так как направления перемещений точек направлена почти перпендикулярно (угол между направлениями трещины и перемещении точек варьируется от 70° до 110° , т.е. $\approx 90^\circ$) направлению трещины(см.рис.4.).

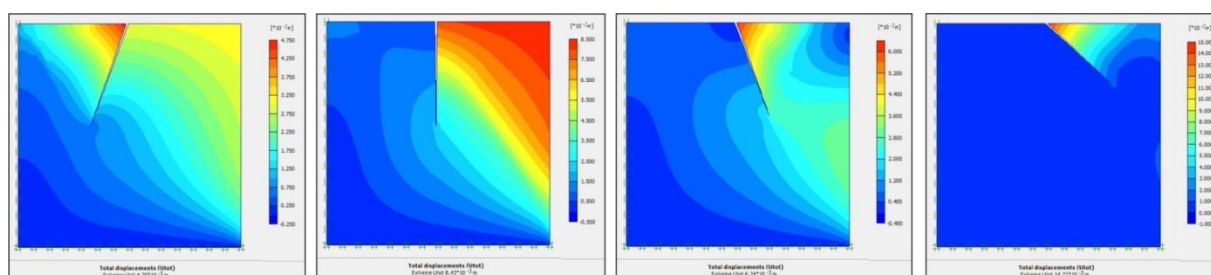


Рис. 4. Наиболее опасные полной деформации при падении углах трещины под -30° , 0° , 30° и 45°

Перемещение узловых точек (*displacement*) рассматриваемой области по направлению оси x изменяется от $-6,8\text{мм}$ до $6,5\text{мм}$, по оси y – от $-3,5\text{мм}$ до -22мм (см табл.2.), а общее(векторное перемещение) – от $4,7\text{мм}$ до 24мм (см. График 1.) Здесь знак «-» обозначает направление перемещении точек противоположное соответствующим осям, а «+» - по направлениям. Степень деформирование

(*strain*%)относительно первоначальных размеров и в зависимости от угла наклона трещины показана на графике 2.

Таблица 2 – деформационные характеристики

Максимальное значения перемещении точек, мм	Направление трещины относительно оси силы гравитации						
	-60 ⁰	-45 ⁰	-30 ⁰	0 ⁰	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰
Горизонтальное	6,8	5,2	3,0	7,6	3,2	1,0	0,4
Вертикальное	-15,0	-8,0	-3,5	-4,5	-5,6	-	22,0

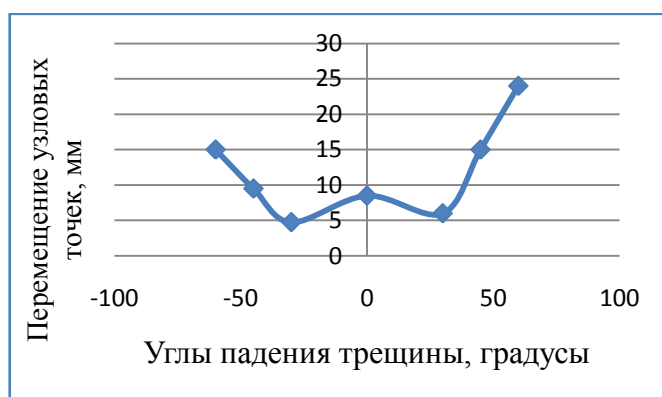


График 1. Перемещение узловых точек относительно изменения угла падения трещины.

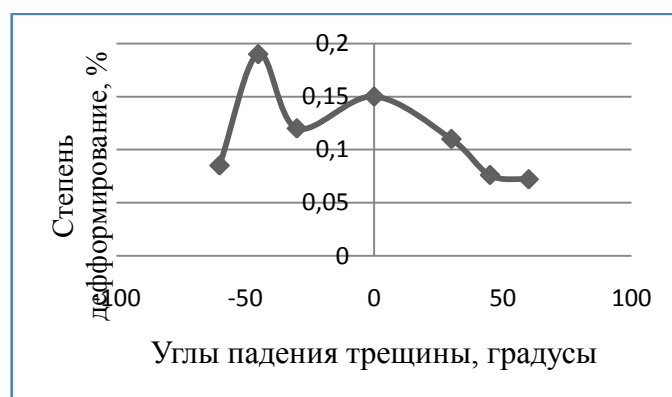


График 2. Изменение степени деформирования относительно изменения угла наклона трещины.

По напряженным характеристикам из расчетов выявили, что на кончике трещины образовалось концентрация сжимающих напряжений(рис.5). Сжимающие напряжения при углах наклона 30⁰, 45⁰ и 60⁰ составили 690 kN/m² или 0,69МПа, а при 0⁰ составило 302 kN/m² или 0,302МПа т.е. в 2,2 раза меньше.

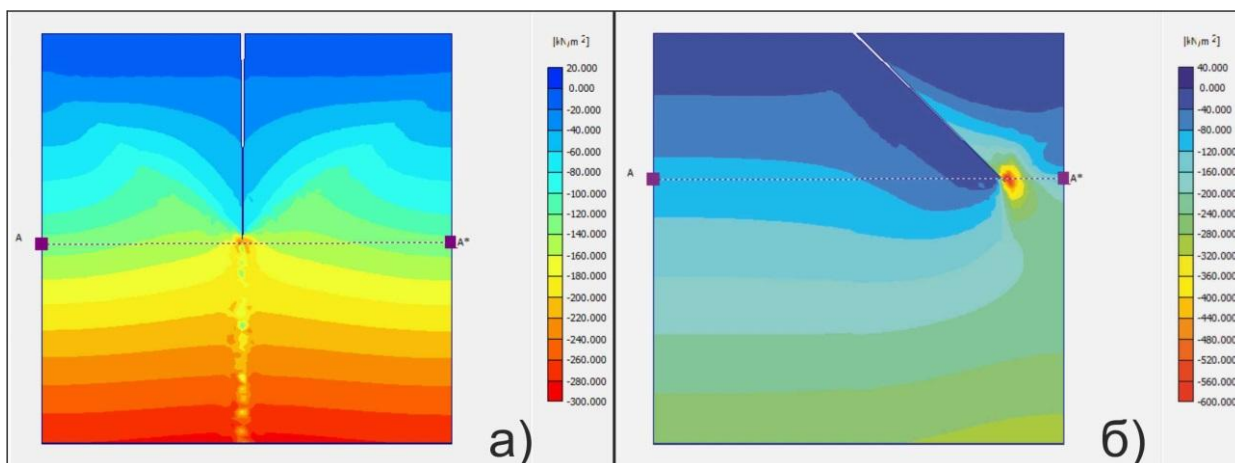


Рис. 5 – концентрация напряжений на кончике трещины а) угол наклона трещины 0^0 , б) угол наклона трещины 45^0 .

На графиках 3-4 показаны результаты распределения напряжений по сечениям AA* при углах наклона трещины 0^0 и 45^0 соответственно, которые проходят через кончики трещины.

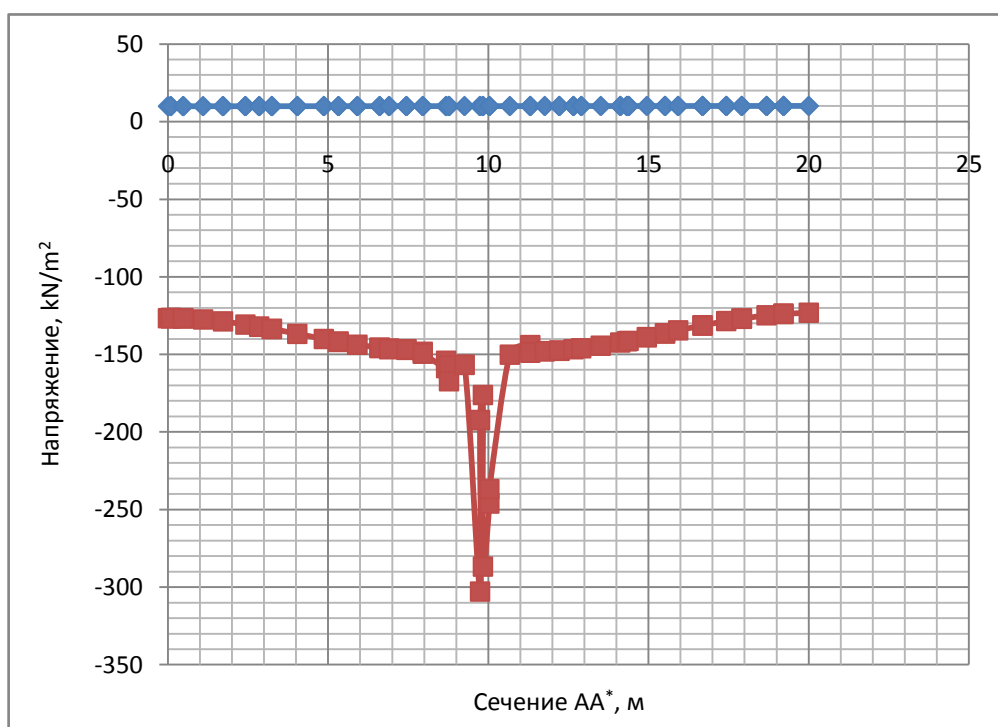


График 3 – распределение сжимающих напряжений по сечению AA* при наклоне трещины под углом 0^0

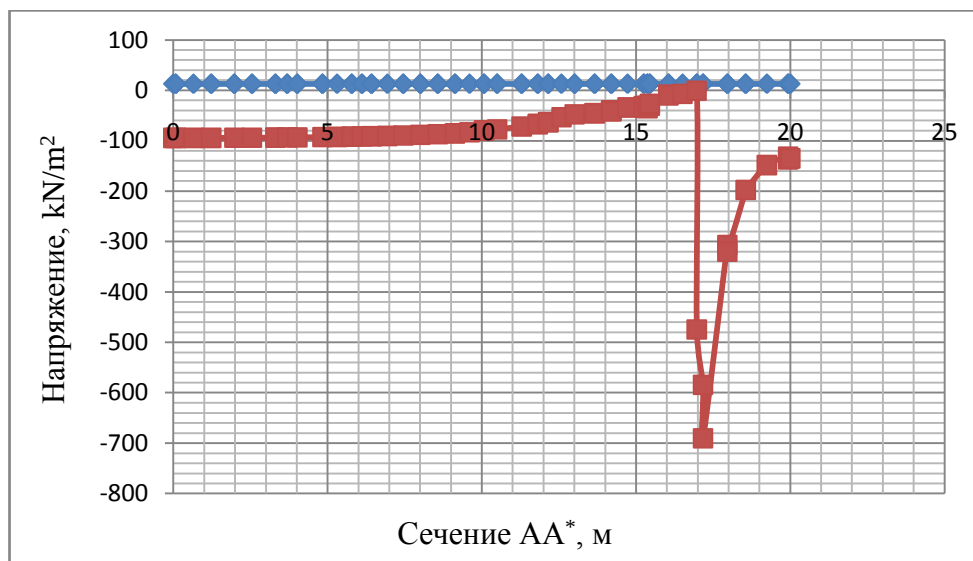


График 4 – распределение сжимающих напряжений по сечению AA* при наклоне трещины под углом 45° .

По проведенным расчетам истекают следующие выводы: А) если рассмотреть положительные углы падения трещин как сторону разработки, то векторное перемещение точек начиная с 30° идет резкий рост; Б) направление трещины перпендикулярно направлению действия растягивающих напряжений; В) концентрация сжимающих напряжений создаются на кончике трещины, способствующие распространению трещины и макроскопическому разрушению, которое подтверждается теорией прочности Гриффитса; Г) максимальные сжимающие напряжение при наклоне трещины под углом 30° , 45° , 60° в 2,2 раза больше чем максимальные сжимающие напряжения под углом 0° .

ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.В. Рац, С.Н. Чернышев Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. изд. «НЕДРА», Москва 1970 г.

2. С.Н. Чернышев Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов.изд. «НЕДРА», Москва 1984г.
3. А.Б. Фадеев Метод конечных элементов в геомеханике. Москва «Недра»,1987, 168стр.
4. С.Н.Чернышев Трещиноватость горных пород и ее влияния на устойчивость откосов. Москва «Недра», 1984, 11стр.
5. Л. Сегернлинд Применение метода конечных элементов. Изд. Мир, Москва 1979г.
6. Г. Стренг, Дж. Фикс Теория метода конечных элементов. Изд. Мир, Москва 1977г.
7. Р. Галлагер Метод конечных элементов. Основы. Москва, «Мир», 1984г.
8. С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер Теория упругости 2-ое изд., Москва «Наука», 1979, с 45.

СОДЕРЖАНИЕ

стр

1.	АЛЁШИН Ю.Г. Использование нейронных сетей для анализа устойчивости горного склона.....	4
2.	БАЙМАХАН Р., ТОЛОБЕКОВА Б., РЫСПАЕВА А.К. Обоснование метода оценки устойчивости грунтовых плотинанизотропного строения.....	13
3.	БИЙБОСУНОВ А.И., ЖУСУПБЕКОВА С.Т. Исследование вихрей Гертлера-Тейлора в пограничном слое вблизи вогнутой поверхности.....	17
4.	ЖАКЫПБЕКОВА А., ТОКТОРАЛИЕВ Б.А., КАБАЕВА Г.Д. Оценка состояния отходов Сумсар-Шекафтарского горнопромышленного комплекса.....	24
5.	ГАНИЕВ Ж.М., КОЖОГУЛОВ К.Ч Физико-механические свойства руд и вмещающих пород месторождения Иштамберды.....	31
6.	АБДИБАИТОВ Ш.А., ТАЖИБАЕВ Д.К., ЯЛЫМОВ Р.Н., ТОКТОГОНОВ Б.М. Современное состояние и пути улучшения освоения Кавакского угольного бассейна.....	40
7.	ТОРГОЕВ И.А., Ю.Г. АЛЁШИН, Б. АЙДАРАЛИЕВ Результаты мониторинга оползня Туюк-Суу.....	50
8.	ЧЕЧЕЙБАЕВ А.Б., ЧЕЧЕЙБАЕВ Б., ЭСТЕБЕСОВА Н.Т. Об алгоритме метода крупных частиц для расчета сжимаемых течений газа в рамках модели Навье-Стокса в случае плоской и цилиндрической геометрий	59
9.	АБДЫЛДАЕВ М.Ю., ИСКАКОВ Б.О., АРКАБАЕВА Г.Н. Обтекание проницаемой бесконечной пластинки потоком конечной ширины наклоненной к пластинке.....	66
10.	ТОЛОБЕКОВА Б.Т., КОЖОГУЛОВ Б.К., РУСАКОВА Н.Л. Инерационный сценарий развития золотодобывающей отрасли Кыргызской Республики.....	72
11.	ФАЛАЛЕЕВ Г.Н Реологические свойства глинистого материала-заполнителя тектонических трещин.....	80

12.	ЧУКИН Б.А., ЧУКИН Р.Б., КИМ Э.А. Сейсмическая устойчивость дамб хвостохранилищ возводимых по методу верхнего бьефа.....	88
13.	АКМАТАЛИЕВА М.С. Болот плитасындагы ширетүүдөн калган калдыктуу чыңалууну изилдөө	99
14.	МАНЖИКОВ Б.Ц., ТИЛЕГЕНОВ К. Повторяемость землетрясений в Токтогульском регионе Кыргызской Республики.....	105
15.	АЛЕШИН Ю. Г. Технология моделирования гидрогенного фактора на оползнеопасном горном склоне.....	114
16.	ИШМАХАМЕТОВ К. Отображения со второй аксиомой счетности.....	122
17.	КАЗАКБАЕВА Г.О., АМАНАЛИЕВ А.А. Исследование характера перераспределения напряжений во времени в твердом оптически активном образце.....	129
18.	ОМУРАЛИЕВ С.Б. Определение коэффициента устойчивости оползневого склона на основе установленных линий скольжения и оползневого давления.....	135
19.	СУЛТАНАЛИЕВА Р.М., КОНУШБАЕВА А.Т. Разупрочнение горных пород под воздействием СВЧ-волн	141
20.	ТОЛОБЕКОВА Б., БАЙМАХАН Р., РЫСПАЕВА А.К. Технология возведения грунтовых защитных сооружений неоднородного наклоннослоистого строения.....	150
21.	А.Б. ЧЕЧЕЙБАЕВ, Б. ЧЕЧЕЙБАЕВ, Н.Т. ЭСТЕБЕСОВА Моделирование взрыва в атмосферном газе методом крупных частиц Давыдова.....	155
22.	ТОЛОБЕКОВА Б.Т., КОЖОГУЛОВ Б.К., РУСАКОВА Н.Л. Оптимистический сценарий развития золотодобывающей отрасли Кыргызской Республики.....	165
23.	ЯЛЫМОВ Р.Н., АБДИБАИТОВ Ш.А. Проявления горного давления с увеличением глубины на рудниках Кыргызстана	171
24.	ИШМАХАМЕТОВ К. О базах и предбазах отображений.....	178
25.	АШИРБАЕВ Б.Ы., ОСМОНКАНОВ А.М., ТЮМЕНБАЕВА А.Н. Управление с минимальной энергией в дискретной задаче оптимального управления.....	186
26.	ЧУКИН Р.Б Подготовка расчетных акселерограмм для	191

	моделирования сейсмических воздействий на грунтовые плотины в программе FLAC.....	
27.	ОСМОНКАНОВ А.М., ТЮМЕНБАЕВА А.Н. Построение переходной матрицы дискретной управляемой системы	204
28.	ТАЖИБАЕВ Д.К. Перспективы применения экологически чистого водоугольного топлива в Кыргызстане.....	209
29.	БАЯЛИЕВА Ж.А. Характер распределения накопленной упругой энергии деформации в зоне уступов склона горы.....	217
30.	КУВАКОВ С. Ж. Учет трещиноватости при оценке напряженно- деформируемого состояния породного блока.....	229
31.	СОДЕРЖАНИЕ.....	238

ISSN 1694-6065



9 771694 606007