

ISSN 1694-6065

**КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА**

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



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

ВЫПУСК СЕМНАДЦАТЫЙ

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

БИШКЕК-2013

ISSN 1694-6065

**КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА**

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



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

ВЫПУСК СЕМНАДЦАТЫЙ

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

БИШКЕК-2013

ББК 22.25
С 56

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

Рецензенты: доктор физико-матем. наук, профессор Исманбаев А.И.
доктор технических наук, профессор Тажибаев К.Т.

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

Редакционная коллегия:

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

С 56 Современные проблемы механики сплошных сред: Вып.17:
Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии
/Комитет по теорет. и прикл. механике Кыргызстана, Институт
геомеханики и освоения недр НАН КР.-Б.: 2013. - 274 с.

ISSN 1694-6065

В сборник включены материалы, посвященные современным аналитическим и численным методам решения краевых задач механики сплошных сред, статьи для изучения проблем 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

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, 2013

АДАПТИВНЫЙ ЦИКЛИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ

Алёшин Ю.Г.
ИГиОН НАН КР

Типичной задачей геофизической структуроскопии горных массивов является распознавание каждого из объектов (литологических разностей, слоёв, структурных нарушений), наблюдаемых одновременно при каждом измерении. Распознавание групп объектов, но не каждого из них поодиночке позволяет использовать новые признаки: расстояние между объектами, соотношение их геометрических характеристик, число слоёв, их взаимоположение (стратиграфия). При этом дополнительно может быть привлечена геологическая информация, результаты бурения опорных скважин на исследуемом участке горного массива. Даже если пренебречь этой информацией и ограничиться тем же множеством признаков, что и при распознавании одиночных объектов, можно использовать ряд решающих процедур значительно более эффективных, чем традиционные алгоритмы распознавания отдельно взятых объектов. К числу таковых можно отнести процедуру циклического пересчёта адаптивных оценок.

Одно и то же множество измеренных значений геофизических признаков $\{\bar{X}_j\}$ в циклических процедурах может быть использовано для уточнения состава группы объектов распознавания. Если статистики оценок $g(\bar{x})$ зависят от априорных вероятностей классов $P_a(A_i)$, то замена последних в каждом новом $q+1$ цикле адаптации величина-

ми более близкими к вероятности $P(A_i)$, чем $P_a(A_i)$, позволяет рассчитывать на последовательное уточнение адаптивных оценок.

Рассмотрим на конкретном примере две процедуры циклического пересчёта адаптивных оценок: (1) – формальная и (2) – "содержательная" с использованием общегеологических закономерностей.

По результатам геоэлектротомографии на оползневом участке в г. Майлуу-Суу геоэлектрический разрез в целом вдоль одного из разведочных профилей был получен в следующем виде (рис.1). Общегеологическими работами установлено, что в разрезе горного массива присутствуют следующие литологические разности (сверху вниз): 1) суглинки лёссовидные, макропористые твёрдые и полутвёрдые, (2) суглинки тугопластичные, с глубиной увлажнённые, (3) песчаники верхнемеловые рыхлые, на глинисто-известковом цементе. Распределение вероятностей этих геолого-литологических разностей по глубине массива ранее было получено в виде, указанном на рис. 2. На этапе обучения распределение величины УЭС ρ горных пород для представленных в разрезе структурных классов было аппроксимировано γ -распределением как это показано на рис. 3.



Рис. 1. Геоэлектрический разрез (усреднённый) вдоль разведочного профиля на оползневом склоне Кульмен в г. Майлуу-Суу

Формальная процедура. Находим средние вероятности (априорные) предъявления к распознаванию отдельных структурных классов при глубине исследования массива H_m

$$\bar{P}_{ia} = \frac{1}{H} \int_0^{H_m} P_{ia}(H) dH \quad (1)$$

В рассматриваемом примере для $H_m = 40$ м имеем: $\bar{P}_{1a} = 0,072254265$; $\bar{P}_{2a} = 0,107415495$; $\bar{P}_{3a} = 0,82033024$. Условие минимума ошибок распознавания характеризуется следующей системой уравнений:

$$\bar{P}_{1a} f(\rho^*/A_1) = \sum_{i \neq 1}^{I=2} P_{ia} f(\rho^*/A_i); \quad \bar{P}_{3a} f(\rho^{**}/A_3) = \sum_{i \neq 3}^{I=2} P_{ia} f(\rho^{**}/A_i) \quad (2)$$

где $f(\cdot)$ – условная плотность вероятности распределения величины УЭС ρ грунтов i -го класса.

В результате решения находим граничные значения ρ^* и ρ^{**} для разделения i -го и j -го класса. В данном случае имеем $\rho^* = 155$ Ом·м; $\rho^{**} = 11,5$ Ом·м. При таких границах следует принимать в геологическом разрезе: при $\rho \leq \rho^*$ – суглинки влажные и глины (класс A_2); при $\rho > \rho^*$ – почвенно-растительный слой и суглинки твёрдые и полутвёрдые (класс A_1); при $\rho^{**} < \rho < \rho^*$ – песчаники нижнемеловые (класс A_3).

После анализа имеющихся данных получаем оценки апостериорных вероятностей первого цикла: $\bar{P}_{11} = 0,025$; $\bar{P}_{21} = 0,2$; $\bar{P}_{31} = 0,775$. При этом условные вероятности правильных β_{i1} и ошибочных $|\lambda_{i1}|$ решений будут определяться следующей матрицей, где диагональные элементы определяют условные вероятности правильных решений:

$$|\Lambda_0| = \begin{vmatrix} 0,215 & 3,074 \cdot 10^{-5} & 0,785 \\ 5,495 \cdot 10^{-3} & 0,133 & 0,861 \\ 8,090 \cdot 10^{-3} & 7,860 \cdot 10^{-3} & 0,984 \end{vmatrix} \quad (3)$$

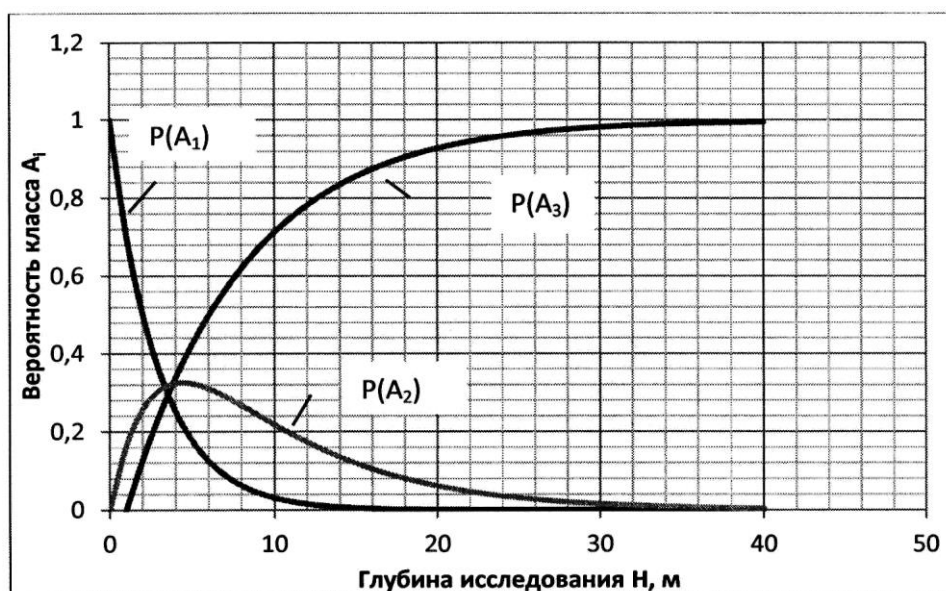


Рис. 2. Вероятности распределения классов горных пород по глубине горного массива на оползневом склоне Кульмен в г. Майлуу-Суу

Сопоставляя исходные значения априорных вероятностей классов P_{ia} и апостериорные после первого цикла P_{i1} , можно заметить небольшое их различие, однако высокие уровни ошибок при распознавании класса A_3 ($\lambda_{13} = 0,78470$; $\lambda_{23} = 0,8610242$) не позволяют далее продолжить циклическую процедуру. Следует остановиться на полученных значениях P_{i1} и представить геологический разрез в следующем виде (показано на рис. 4а): на глубине 0-1 м – сухой суглинок, почвенно-растительный слой; на глубине от 1 до 7 м – навалы песчаника нижнемелового, сверху до глубины 4 м сухие, ниже – влажные; от 8 до 15 м – суглинок переувлажнённый, водонасыщенный (на глубине 13–15 м), возможно с глинистым прослоем на глубине 15 м; более 16 м – песчаник влажный на глубине 16–17 м, далее с глубиной – менее влажный.

Формальные процедуры, исходя из модели хаотического беспорядка (модели Изинга), позволяют структурировать горный массив хотя бы по принципу выделения в его пространстве более или менее связанных областей залегания отдельных структурных классов грунтов.

Содержательная процедура. Основанием этой процедуры является пошаговый анализ геофизических данных по глубине горного массива. Сформулированные на предыдущем этапе (формальная процедура) кластеры следует рассмотреть с учётом априорной информации о вероятностном распределении классов горных пород по глубине массива (рис. 2). Выделены три интервала глубин с относительно однородным составом: глубины от 0 до 7 м, где идентифицированы на первом этапе в основном песчаники верхнемеловые (в виде навала плит и глыб); глубины от 7 до 15 м, где идентифицированы суглинки различной влажности; глубины свыше 16 м, где идентифицированы песчаники в коренном залегании.

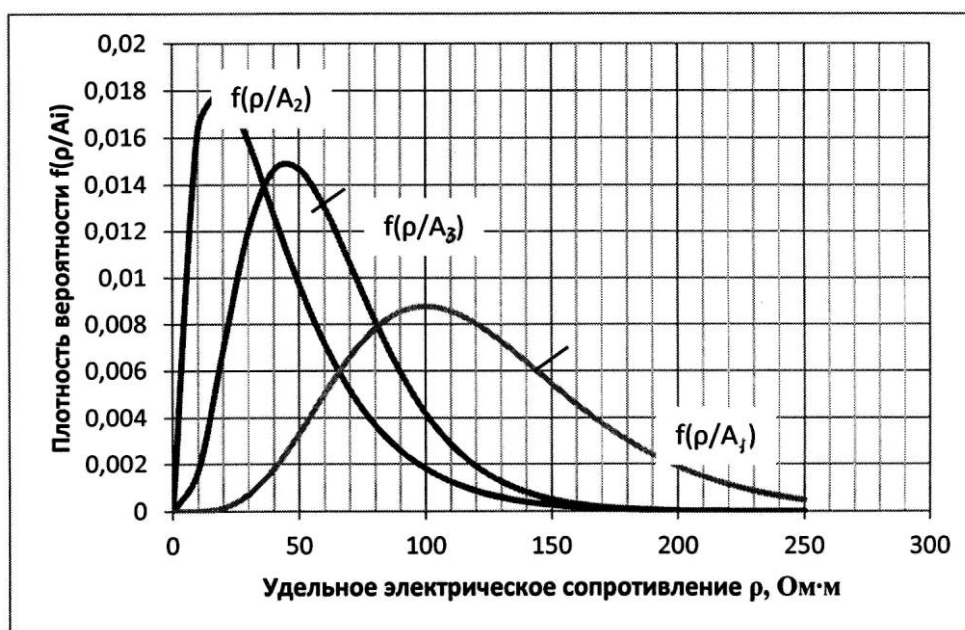


Рис. 3. Распределение плотностей вероятности величины УЭС грунтов различных классов (суглинки и песчаники Майлуу-Суу)

Средние априорные вероятности появления отдельных классов горных пород на интервале глубин от 0 до 7 м согласно рис. 2, и формулы (1) составляют: $\overline{P}_{1a}^{(1)} = 0,37624$; $\overline{P}_{2a}^{(1)} = 0,2638256$; $\overline{P}_{3a}^{(1)} = 0,359933$. Решая уравнения (2) для этих условий, находим новые граничные значения $\rho_{ij}^{(1)*}$ для раздела i -го и j -го классов $i, j \in \overline{1,3}$ $\rho^{(1)*} = 29$ Ом·м;

$\rho^{(1)**} = 80 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Эти граничные значения определяют следующие решения при геологической интерпретации геофизических данных: в интервале $\rho < 29 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ суглинки лёссовидные (класс A_2); в интервале $29 < \rho < 80 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – песчаники нижнемеловые в коренном залегании (класс A_3); в интервале $\rho > 80 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – почвенно-растительный слой и сухие твёрдые суглинки (класс A_1). При этом получаем следующие оценки апостериорных вероятностей после второго цикла адаптации на интервале глубин 0–7 м: $\overline{P}_{1a}^{(1)} = 0,571$; $\overline{P}_{22}^{(1)} = 0,42$; $\overline{P}_{32}^{(1)} = 0$. Таким образом, геологическое представление о разведываемом участке горного массива на верхних горизонтах радикально изменилось: теперь он представляется состоящим из двух разновидностей суглинка – сухих рыхлых в верхней части до глубины 4 м, и увлажнённых, полутвёрдых на глубинах 4–7 м.

После решения первого из уравнений (2), но уже для двух классов A_1 и A_2 находим граничное значение $\rho^* \approx 60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, при этом достоверность распознавания характеризуется матрицей правильных и ошибочных решений

$$|\Lambda_1| = \begin{vmatrix} 0,92 & 0,08 \\ 0,18 & 0,82 \end{vmatrix} \quad (4)$$

Ввиду малых величин ошибочных решений можно провести коррекцию смещений в оценке $\overline{P}_{i2}^{(1)}$ согласно /1/ и окончательно получить распределение по вероятности классов грунтов в первом слое

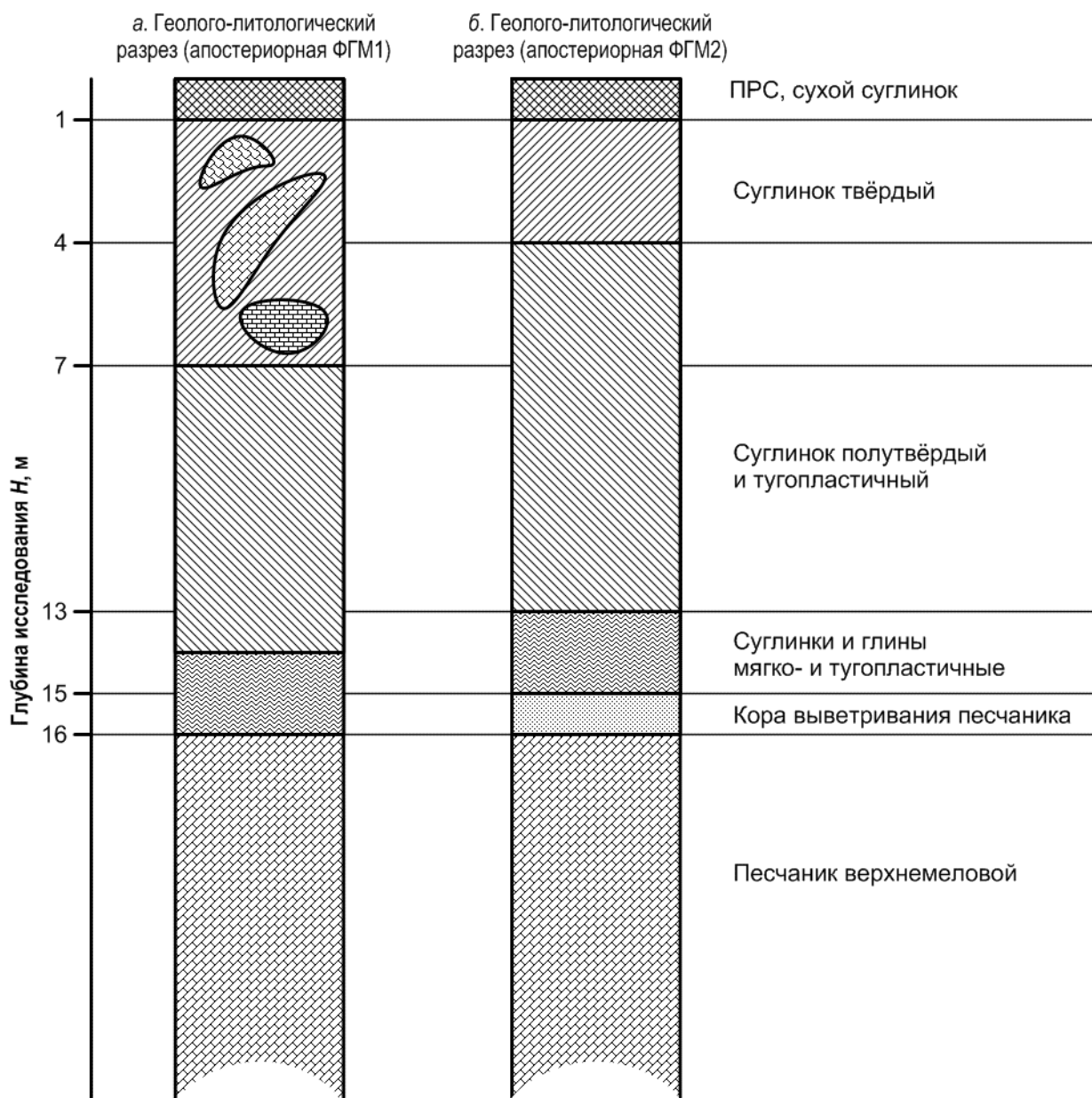


Рис. 4. Трансформация геолого-литологического разреза участка проведения геофизических работ в Майлуу-Суу с использованном адаптивного циклического алгоритма распознавания.

$$\mathbf{P}_{12}^{(0)} = \frac{\overline{P}_{12}^{(0)} - \lambda_2}{\beta_1 - \lambda_2} = 0,529; \quad \mathbf{P}_{22}^{(1)} = \frac{\overline{P}_{22}^{(1)} - \lambda_1}{\beta_2 - \lambda_1} = 0,471; \quad \mathbf{P}_{32}^{(1)} = 0 \quad (5)$$

При этом достоверность распознавания составит 85% для класса A_1 и 90% для класса A_2 .

Далее рассматриваем интервал глубин от 8 до 16 м. Прodelав уже известные вычислительные процедуры, будем иметь следующие

граничные значения УЭС: $\rho^{(2)*} = 16 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\rho^{(2)**} = 180 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. При этом следует относить горные породы при $\rho < \rho^{(2)*}$ к классу A_2 – суглинки лёссовидные влажные и обводнённые; $\rho^{(2)*} \leq \rho \leq \rho^{(2)**}$ – к классу A_3 – коренные песчаники различной степени обводнённости и, наконец, $\rho > \rho^{(2)**}$ – к классу A_1 – поверхностные суглинки рыхлые, сухие.

После анализа исходных данных были получены следующие величины апостериорных вероятностей классов горных пород $\bar{P}_{13}^{(2)} = 0$; $\bar{P}_{23}^{(2)} = 0,8888$; $\bar{P}_{33}^{(2)} = 0,1111$, т.е. в геологическом разрезе на интервале глубин от 8 до 16 м отсутствуют сухие суглинки; разрез представлен преимущественно плотными суглинками, обводнёнными на глубине 14–15 м на контакте с песчаником. Матрица правильных и ошибочных решений для выделенных двух классов A_2 и A_3 этого интервала выглядит следующим образом:

$$|\Lambda_2| = \begin{vmatrix} 0,24 & 0,76 \\ 0,05 & 0,95 \end{vmatrix} \quad (6)$$

Достоверность результатов идентификации класса A_2 составляет 97,5%, класса A_3 – 13,5% (на глубине 16 м). При этом обращает на себя внимание весьма малая величина условной вероятности правильных решений β_2 для класса A_2 .

Наконец, в интервале больших глубин (свыше 16 м) при априорных вероятностях структурных классов: $P_{1a}^{(3)} = 0,00475$, $P_{2a}^{(3)} = 0,0310788$, $P_{3a}^{(3)} = 0,9684466$, будем иметь следующие граничные значения УЭС горных пород для разделения $\rho^{(3)*} = 7 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\rho^{(3)**} > 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. При таких границах раздела структурных классов в разрезе горного массива на изучаемом интервале глубин идентифицирован только один класс A_2 – песчаники от влажных до нормальной влажности по мере увеличения глубин залегания, т.е. $\bar{P}_{12}^{(3)} = 0$; $\bar{P}_{22}^{(3)} = 0$; $\bar{P}_{32}^{(3)} = 1$.

Окончательно представляем геологический разрез в виде, показанном на рис. 4б. В результате использования многоэтапной адаптивной процедуры распознавания и циклической корректировки решений произошло структурирование модели массива к её классическому виду, характерному для исследуемой территории и подтверждённой многочисленными исследованиями, проведёнными нами здесь с применением буровых работ. Этот пример ясно показал, что при глубоком и всестороннем использовании априорной модели горного массива и в существенной мере под её влиянием выстраивается (структурируется) апостериорная модель как результат инженерно-геологической интерпретации геофизических данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селекция и распознавание на основе локационной информации / А.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш и др. Под ред. А.Л. Горелика. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.

**ВОПРОСЫ ГЕОМЕХАНИКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНОГО
ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ**

Кожогулов К.Ч., Калдыбаев Н.А.

ИГиОН НАН КР, ОшТУ

В процессе производства добычных работ на месторождениях природного облицовочного камня, объектами человеческого воздействия являются не отдельно взятые горные породы, а их толщи, составляющие массивы горных пород. Реальные горные массивы, представляют собой физически неоднородные сложные среды, расчлененные на структурные элементы различных порядков. Каждый из них характеризуется той или иной степенью неоднородности, анизотропности, трещиноватости, а также определенными показателями. [1, 2]

Изучение опыта разработки месторождений природного камня показывает, что увеличение эффективности и обеспечение безопасности добычных работ невозможно без тщательного учета геомеханических факторов. В результате изучения месторождения и выявления закономерностей в изменении исследуемых характеристик появляется возможность отображения форм, свойств и процессов, прошедших в массиве, т.е. геометризаций карьерного поля и геомеханических показателей месторождения. В настоящее время, несмотря на большой объем выполненных исследований, отдельные проблемы геометризации недр в теоретическом и практическом плане не решены в полном объеме и требуют дальнейшего изучения.

Применительно к рудным и угольным месторождениям имеется достаточный опыт в решении задач геометризации форм, строения залежей и геомеханических показателей горного массива, в основу расчетов которых положены знания о структурной неоднородности массивов (коэффициент трещиноватости) и представления об уменьшении прочности горных пород в массиве по сравнению с их прочностью в образце (коэффициент структурного ослабления).

Вместе с тем, указанная проблема для месторождений природного облицовочного камня актуальна и требует своего решения. Массивы месторождений облицовочного камня средней и ниже средней прочности характеризуются небольшой мощностью покрывающих пород, наличием мощного выветрелого, сильно трещиноватого слоя, зон с интенсивной трещиноватостью массива и тектонических нарушений. При этом, имеются массивные структуры и участки с незначительной трещиноватостью.[3, 4]

Основным показателем, характеризующим ценность месторождения облицовочного камня (мрамор, гранит, известняк и т. п.) и совершенство технологии его разработки, служит выход блоков заданной крупности («извлечение») из массива месторождения. При эксплуатации месторождения его фактическую величину вычисляют по данным маркшейдерских замеров, через отношение объема полученных блоков к объему вынутого полезного ископаемого. Для планирования горных работ, определения производственной мощности, обоснования технологии добычи и установления динамики экономических показателей работы карьера значение коэффициента выхода блоков прогнозируют с учетом характера природной трещиноватости массива, направления фронта работ, анизотропии прочностных свойств камня и способа направленного разрушения (резание, раскол или их комбинация). Методы определения прогнозного коэффициента выхода блоков общеизвестны, но они не учитывают влияние техногенных трещин на

его конечное значение. В свою очередь, образование техногенных трещин связано, не только с прямым механическим воздействием на массив, а и геомеханическими процессами, протекающими в массиве при разработке данных месторождений [5].

Разработка месторождений связана с проведением в горных породах выработок, которые нарушают в массиве сложившееся равновесие. Восстановление равновесия массива приводит к деформациям выработок и созданию в массиве полей напряжений, суперпозиция которых с локальными полями напряжений, вызванных воздействием горных работ на породу, изменяет первоначальное поле напряжений и приводит к росту их значений вблизи горных выработок, вызывая в них необратимые деформации. Это обстоятельство используют при оценке устойчивости бортов карьеров, и оно достаточно подробно рассмотрено в литературе.

Влияние горного давления на добычу блоков блочного камня ранее практически не оценивали. Поэтому при рассмотрении динамики состояния массивов месторождений облицовочного камня можно использовать общие теоретические предпосылки механики горных пород.

В массиве месторождений глубинного типа (равнинного) напряжения связаны с гидростатическим давлением столба породы и их боковым распором. Изменение температуры породы в ее приповерхностном слое приводит к возникновению термических напряжений, знак которых зависит от времени года. В свою очередь, с генезисом месторождения связаны тектонические напряжения, не зависящие, как правило, от глубины залегания оцениваемого объема камня. Наряду с перечисленным, напряжения в массиве predetermined сцеплением пород. Все это и определяет общее напряженно-деформированное состояние массива.

В процессе выемки горных пород в массиве происходит изменение первоначального напряженного состояния и наблюдается их концентрация в нижней бровке откоса. На это поле воздействует постоянно меняющееся поле термических напряжений. Далее при отделении объемов камня от массива посредством бурения или резания в окрестности скважин и пропилов концентрируются дополнительные напряжения. В отделенном объеме камня за счет его всестороннего симметричного прогрева изолинии напряжений выравниваются, но при опрокидывании в верхней части блоков концентрируются напряжения, на которые накладываются напряжения, создаваемые от нагрузок при разделке камня на блоки. При перемещении готовых блоков по площадкам из-за трения происходит их локальный нагрев, вызывающий возникновение термических напряжений. Выдержка блоков перед распиловкой обеспечивает выравнивание в них напряжений, остаточный уровень которых многократно превосходит природное напряженное состояние (начальное). Распиловка блоков на плиты также связана со значительными нагрузками, вызывающими в плитах дополнительные напряжения.

Таким образом, процесс формирования напряжений в блоках многостадийный и дискретный, а их конечные величины, вследствие релаксационных процессов и эффекта памяти горных пород, растут пропорционально интенсивности добычи и обработки, а также зависят от прилагаемых при этом нагрузок. Поэтому чем больше нагрузки и скорость производственных процессов, тем выше конечная величина напряжений в камне и вероятность образования техногенных трещин вследствие саморазрушения камня.

По мнению некоторых авторов [5, 6] снизить уровень конечных напряжений в камне, а, следовательно, увеличить выход продукции из него можно за счет рационального управления технологией добычи блоков (изменения интенсивности горных работ). При этом с исполь-

зованием акустического метода для оценки динамики напряжений в пространстве месторождения установлено следующее:

- напряжения в массиве варьируют в зависимости от положения точки замера и достигают максимальных значений в прибортовом участке массива;
- напряжения в массиве растут при увеличении интенсивности горных работ и зависят от высотного положения оцениваемого участка относительно основного массива месторождения;
- в процессе добычи блоков напряжения в них по сравнению с отрабатываемым массивом возрастают не менее чем на 18 %.

Установлено, что наибольшее приращение напряжений происходит при добыче блоков с более высокой скоростью подвигания забоев, расположенных вблизи нерабочего борта карьера.

Таким образом, при оценке коэффициента выхода блоков необходимо учитывать интенсивность и специфику технологического процесса добычи блоков, а также начального уровня напряжений отрабатываемого массива. Это позволит более правильно решать задачи планирования и оценки динамики производственной мощности карьера, подбирая для каждого отдельного случая оптимальную интенсивность и схему добычи.

Вышеизложенное указывает на необходимость учета геомеханических процессов при обосновании рациональной интенсивности добычных работ. Рациональной следует считать такую скорость добычных работ, которая обеспечивает максимальный объем добычи блоков на месторождении с заданными размерами. Причем, величину скорости необходимо устанавливать с учетом особенностей формирования напряженно-деформированного состояния оцениваемого месторождения природного камня.

Интересным фактом является влияние на коэффициент выхода блока времени года. То есть многолетние исследования на карьере

Сары-Таш и на других месторождениях показывают, что относительное снижение коэффициента выхода блоков достигает максимума в июле – месяце с наиболее благоприятными климатическими условиями. Это объясняется тем что значения термических напряжений в массиве природного камня на разной глубине зависит от метеоусловий, и их максимум приходится на июль. Это косвенно доказывает зависимость выхода блоков от интенсивности их добычи.

Полученные результаты послужат основой для решения широкого круга задач горного производства на стадии проектирования, таких, как выбор технологии разработки месторождения, установление оптимальных параметров системы разработки и подготовки пород к выемке, а также обоснования направления перемещения фронта работ и комплексного использования сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добыча и обработка природного камня: Справочник / Под ред. А.Г.Смирнова. –М.: Недра, 1990.- 445с.
2. Карасев Ю.Г., Карасева О.Ю. Природный облицовочный камень: производство, экспорт, импорт, цены// Горный журнал. – 1996 - № 6 - с.27 – 30.
3. Чесноков М.М. Разработка гранитных месторождений. – М.: Изд-во АН СССР, 1958 – 143 с.
4. Чернышев С.Н. Движение воды по сетям трещин. – М.: Недра, 1979 –141с.
5. Косолапов А. И., Косолапова С. А., Калиновская Т. Г. К вопросу выбора рациональной интенсивности добычи блоков природного камня. Российская Академия Естествознания. // Научно-теоретический журнал «Успехи современного естествознания», №3, 2009 г.
6. Калдыбаев Н.А., Султаналиев А., Самиева М. Результаты исследования естественной трещиноватости массива на месторождении известняков-ракушечников Сары-Таш.// Известия вузов, №5, Бишкек, 2009. стр. 15-19.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

ЖЕР КӨЧКҮ БЕТТЕРИНДЕГИ СУЮУКТУКТУН БИР ӨЛЧӨМДҮҮ ИНФИЛЬТРАЦИЯСЫН ЭСЕПТӨӨ

Бийбосунов Б.И., Уметалиев М.У., Бексултанов Ж.Т.

И.Арабаев атындагы КМУ, И.Раззаков атындагы КМТУ

Инфильтрациялык факторлор дегенде, биз төмөндөгү көчкү жаратуучу негизги факторлордун жыйындысын түшүнөбүз:

Инфильтрациондук факторлор – климаттык шарттар, метеорологиялык шарттар, жер үстүндөгү суулар, тоо тектеринин мезгил мезгили менен тоңуусу жана эрүүсү жана алардын негизинде пайда болгон көчкү беттериндеги инфильтрациондук процесстер жана суюктуктун нымдуулук жана оордук өткөзүү процесстери.

Бизге белгилүү болгондой, берилген факторлор көчкү кубулуштарында маанилүү роль ойнойт, өзгөчө Кыргызстандын аймагында, жана аларды бардык көчкү жаратуучу негизги факторлордун илимий классификациясына киргизишет. Алар «инфильтрациондук факторлор» группасына бириктирилген, анткени бул факторлордун эсебинен көчкү коркунучун туудурган массивке нымдуулуктун сиңүү жана кирүү процесси жүрөт, б.а. гидродинамиканын көз карашы боюнча «топурак – суу» системасында инфильтрациондук агым жүрөт жана пайда болот. Көчкүлөрдүн калыптанышынын жана өнүгүшүнүн инфильтрациондук факторлордун изилдөө үчүн суюктуктун инфильтрация же ным өткөзүү теориясы колдонулат жана каралып жаткан агымдарды, баштапкы жана чектик шарттарда ар кандай тартиптеги жекече туундудагы дифференциалдык теңдемелер түрүндө баяндап жазууга болот. Ошол себептен, гидродинамика теориясы “топурак – суу” системасындагы суюктуктун кыймылын аныктоочу бардык көчкү

жаратуучу негизги факторлорду баяндап жазат жана аларды жер алдындагы гидродинамиканын аналитикалык, жакындаштырылган – аналитикалык жана эсептөө методдору менен изилдөөгө жардам берет. Демек, жалпы белгилүү көчкү жаратуучу факторлорду фильтрациондук жана инфильтрациондук факторлорго бөлүү аркылуу, биз аларды гидродинамиканын методдору аркылуу, ар кандай четки маселелер түрүндө моделдөө аркылуу изилдөө мүмкүнчүлүгүнө ээ болобуз. Берилген гидродинамикалык классификация, биз кездештирген көчкү тоо беттериндеги “топурак – суу” системасында жүрүп жаткан гидродинамикалык процесстердин мүнөзүн аныктоого мүмкүнчүлүк түзөт.

Метеорологиялык шарттар (атмосфералык жаан – чачындар) көчкү беттеринде суюктуктун инфильтрация процесстерин шарттайт. Көчкү беттеринде суюктуктун инфильтрация процесстерин жаз мезгилиндеги карлардын эриши дагы пайда кылат. Көчкү беттерине жер үстүндөгү суулардын эсебинен суюктуктардын сиңүүсү, белгисиз депрессия ийриси же топурактардагы суулардын деңгээли менен фильтрациондук агымдарды жана каныкпаган чөйрөдөгү инфильтрациялык процесстерди дагы жаратат.

Төмөндөгү маселени карайлы. Белгилей кетүүчү нерсе, топурактын нымдуулугу (табийгый абалындагы жана суу менен толук каныккандагы) нымөткөзүү теңдемесин чыгаруу натыйжасында аныкталат:

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

Фильтрациялык процесстерди аныктоо үчүн стационардык эмес фильтрациянын теңдемеси колдонулат:

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left[K(W) \frac{\partial H(x)}{\partial x} \right] = 0 \quad (2)$$

Чөйрө бир тектүү – изотроптуу болгондо, фильтрация коэффициенти турактуу чоңдук болуп эсептелет жана бул учурда (2) теңдемеси төмөндөгүдөй түргө келет:

$$\frac{\partial H}{\partial t} - K \frac{\partial^2 H(x,t)}{\partial x^2} = 0 \quad (3)$$

Дифференциалдык теңдемелерди автомоделдик формада чыгаруу методунун негизинде, берилген теңдемени тиешелүү баштапкы жана чектик шарттары менен аналитикалык чыгардык. (1) теңдемеси үчүн дагы ошону эле белгилөөгө болот.

Бул жерде, бир тектүү изотроптуу чөйрө үчүн жакындаштырылган түрдө

$$D(W)=D_0= \text{const жана } K(W)= K_0W,$$

эсептелсин, анда (1) теңдемеси төмөндөгүдөй түргө өзгөрөт:

$$\frac{\partial W}{\partial t} - D_0 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - K_0 \frac{\partial W}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

(3) теңдемесин төмөндөгү баштапкы жана чектик шарттарындагы чыгарылыштарын келтирели:

$$\left. \begin{aligned} H(x,t)|_{t=0} &= H_0(x) & 0 \leq x \leq z \\ H(x,t)|_{x=0} &= H_{10}(t) & 0 \leq t \leq T \\ H(x,t)|_{x=z} &= H_{10}(t) & 0 \leq t \leq T \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(3) жана (5) баштапкы – четки маселелерин чыгарууну автомодельдик формада издейбиз:

$$H(x;t) = x^n f(z) \quad (6)$$

мында, $z = \frac{t}{x^2}$, n – автомодельдүүлүк көрсөткүчү.

Берилген чыгарылышты (3) теңдемесине коюп жана бир нече өзгөртүп түзүүлөрдү жүргүзгөндөн кийин,

$$z^2 f''(z) + (m + a_0 z) f'(z) + b_0 f(z) = 0 \quad (7)$$

алабыз, мында

$$a_0 = -\frac{1}{2}(2n-3); b_0 = \frac{1}{4}n(n-1); m = -\frac{1}{4k}; \quad (8)$$

Андан ары өзгөртүп түзүү максатында,

$$f(z) = e^{-\xi} \xi^\nu \eta(\xi) \text{ мында } \xi = Z^{-1} \quad (9)$$

деп болжолдойбуз, анда төмөндөгүнү алабыз:

$$\xi^2 \eta''(\xi) + [(2-m)\xi + 2\nu + 2 - a_0] \xi \cdot \eta'(\xi) + [(1-m)\xi + 2\nu + 2 - a_0 - m\nu] \xi \cdot \eta(\xi) + [\nu^2 + (1-a_0)\nu + b_0] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (10)$$

Төмөндөгү барабардык орун алсын деп болжолдойлу:

$$\nu^2 + (1-a_0)\nu + b_0 = 0 \quad (11)$$

Берилген теңдеменин чыгарылышы төмөндөгүдөй түрдө болот:

$$\nu_1 = \frac{1-n}{2}; \quad \nu_2 = -\frac{n}{2} \quad (12)$$

(11) барабардыгынын негизинде (10) теңдемеси,

$$\xi \cdot \eta''(\xi) + [2\nu + 2 - a_0 + (2-m)\xi] \cdot \eta'(\xi) + [(1-m)\xi + 2\nu + 2 - a_0 - m\nu] \cdot \eta(\xi) = 0 \quad (13)$$

түрүнө келет.

(13) алынган теңдемени жөнөкөйлөтүү үчүн,

$$\eta(\xi) = e^{\frac{m-3\xi}{2}} \cdot U(\xi) \quad (14)$$

болсун деп болжолдойлу. Анда, бир канча өзгөртүүлөрдөн кийин төмөндөгүнү алабыз:

$$\xi \cdot U''(\xi) + [2\nu + 2 - a_0 - \xi] \cdot U'(\xi) + \left[\frac{1-m^2}{4} \xi + \frac{a_0 + m(2-a_0) - 2(\nu-1)}{2} \right] \cdot U(\xi) = 0 \quad (15)$$

(15) теңдемеси $m = \pm 1$ маанилеринде, же ошондой эле, $k = \pm \frac{1}{4}$

болгондо, гипергеометриялык теңдеме түрүнө келет. Бирок, физикалык ой жүгүртүүлөрдү эске алуу менен, К фильтрация коэффициенти оң сан болуусу керек, б.а. $k = \frac{1}{4}$ деп эсептеп, $m = -1$ маанисин кабыл

алабыз. Анда (15) теңдемесинен төмөндөгүдөй гипергеометриялык теңдемени алабыз:

$$\xi \cdot U''(\xi) + [2\nu + 2 - a_0 - \xi] \cdot U'(\xi) + (\nu + 2 - a_0) \cdot U(\xi) = 0 \quad (16)$$

(16) теңдемесинин чыгарылыштары болуп төмөндөгү функциялар эсептелет:

$$U(\xi) = C_1 \cdot \Phi_1(q; p; \xi) + C_2 \cdot \xi^{1-p} \Phi_2(q - p + 1; 2 - p; \xi) \quad (17)$$

$$\text{мында } P = 2\nu + 2 - a_0 = 2 + n + \frac{1}{2}; \quad q = \nu + 2 - a_0 = \nu + n + \frac{1}{2} \quad (18)$$

C_1 жана C_2 – каалагандай турактуулар; $\Phi_1(\xi)$ жана $\Phi_2(\xi)$ - гипергеометриялык функциялар. (11) теңдемесинин тамырларына кайрылалык. Бул учурда төмөндөгүдөй учурлар болушу мүмкүн.

1. $\nu = \frac{1-n}{2}$, анда (18) барабардыгынын негизинде (14) жана (17) туюнтмаларынын эске алып, (9) формуласынан төмөндөгүнү алабыз:

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{\frac{n}{2}} \left[C_{02} \cdot \Phi_2\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; z^{-1}\right) + C_{01} \cdot z^{-\frac{1}{2}} \Phi_1\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; z^{-1}\right) \right] \quad (19)$$

(6) барабардыгын, (19) чыгарылышын колдонуп, акырында фильтрациондук күчтүн функциясы үчүн формулаларды алабыз, анда (6) формуласынын негизинде төмөндөгү чыгарылышы келип чыгат

$$H(x; t) = t^{\frac{n}{2}} \cdot e^{-\frac{x^2}{t}} \cdot \left[C_{02} \cdot \Phi_2\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{x^2}{t}\right) + C_{01} \cdot \frac{x}{t^{\frac{1}{2}}} \Phi_1\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; \frac{x^2}{t}\right) \right] \quad (20)$$

2. $\nu = -\frac{n}{2}$, анда акырында төмөндөгүнү алабыз:

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{\frac{n}{2}} \left[C_{01} \cdot \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; z^{-1}\right) + C_{02} \cdot z^{-\frac{1}{2}} \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; z^{-1}\right) \right] \quad (21)$$

$$H(x;t) = t^{\frac{n}{2}} \cdot e^{-\frac{x^2}{t}} \cdot \left[C_{01} \cdot \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{x^2}{t}\right) + C_{02} \cdot \frac{x}{t^{\frac{1}{2}}} \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; \frac{x^2}{t}\right) \right] \quad (22)$$

(19) формуласын (21) формуласы менен салыштырып, алар негизинен бирдей деген жыйынтыкка келебиз, ошондуктан

$$f(z) = e^{-\frac{1}{z}} \cdot z^{\frac{n}{2}} \left[C_1 \cdot \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; z^{-1}\right) + C_2 \cdot z^{-\frac{1}{2}} \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; z^{-1}\right) \right] \quad (23)$$

алабыз, ушул эле сыяктуу, коюлган маселенин акыркы чыгарылышын төмөндөгүдөй түрдө алабыз:

$$H(x;t) = t^{\frac{n}{2}} \cdot e^{-\frac{x^2}{t}} \cdot \left[C_1 \cdot \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{x^2}{t}\right) + C_2 \cdot \frac{x}{t^{\frac{1}{2}}} \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; \frac{x^2}{t}\right) \right] \quad (24)$$

Автомоделдүүлүктүн көрсөткүчүнө ар кандай маанилерди берүү аркылуу, биз $f(z)$ жана $H(x;t)$ функциялары үчүн ар түрдүү формаларды ала алабыз.

Бул иште, нымдуулуктун топуракка вертикалдуу сиңүү процессин баяндап жазуучу, нымдуулуктун белгисиз функциясына карата инфильтрациянын модели сунушталган жана берилген класстагы инфильтрациялык маселелер үчүн иштелип чыккан жакындаштырылган – аналитикалык чыгаруу методдору көргөзүлгөн. Көчкү массивтерине нымдуулуктун сиңүү процессин карайлы. Аны экинчи тартиптеги параболалык тибиндеги квазисызыктуу дифференциалдык теңдеме менен баяндап жазууга болот:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(W) \frac{\partial W}{\partial x} \right] + \frac{\partial K(W)}{\partial x} \quad (25)$$

төмөндөгүдөй баштапкы жана чектик шарттарда:

$$\begin{aligned}
W(x;t)|_{t=0} &= Q_0(x) \\
W(x;t)|_{x=0} &= Q_0(t) \\
W(x;t)|_{t=0} &= Q_1(t)
\end{aligned}
\quad D(W) \frac{\partial W}{\partial x} - K(W) \Big|_{x=h_0} = 0 \quad (26)$$

Мында $W(x;t)$ – izdelүүчү нымдуулуктун функциясы; $D(W)$ жана $K(W)$ – тиешелүү түрдө диффузиянын жана ным өткөзүүчүлүктүн коэффициенттери жана аларды жалпысынан ным ташуу коэффициенттери деп атоого болот. (25) теңдемесинде $K(W)$ коэффициентинин болушу, берилген бир өлчөмдүү теңдемеси, тоо массивтеринин тамчылык дагы жана гравитациялык дагы нымдуулук сиңирүү күчтөрдү эске алат дегенди билдирет. Эгерде жакындаштырылган түрдө,

$$D(W) = D_0 = \text{const}; \quad K(W) = K_0 W,$$

болсун деп эсептесек, анда (2.3.25) теңдемеси жөнөкөй түргө келет:

$$\frac{\partial W}{\partial t} - D_0 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - K_0 \frac{\partial W}{\partial x} = 0 \quad (27)$$

(26) келип чыккан, тиешелүү баштапкы жана чектик шарттары менен.

Берилген теңдеме ар кандай сандык методдор менен чыгарылган, ошондуктан аларды келтирүүнүн зарылчылыгы жок деп ойлойбуз. Андан сырткары ал жекече туундудагы дифференциалдык теңдемелерди автомобильдик чыгаруу методдору менен аналитикалык чыгарылган. Биз алган автомобильдик чыгарылыштын бирөөсүн келтирели:

$$W(x;t) = x \cdot t^{\frac{n-1}{n}} \cdot e^{\alpha_0 + \beta_0 x - \frac{x^2}{t}} \cdot \left[C_{01} \cdot \frac{\sqrt{t}}{x} \Phi_1\left(\frac{n+1}{2}; \frac{1}{2}; \frac{x^2}{t}\right) + C_{02} \cdot \Phi_2\left(\frac{n+2}{2}; \frac{3}{2}; \frac{x^2}{t}\right) \right]$$

Бул жерде, n - автомоделдүүлүк көрсөткүчүнө ар түрдүү маанилерди тандоо менен, нымдуулуктун функциясы үчүн ар кандай конкреттүү ачык түрлөрдү жана жекече чыгарылыштарды алууга болот.

АДАБИЯТТАР

1. Полубаринова – Кочиа Н.Я. Теория движения грунтовых вод. М. Наука 1977г.
2. Бийбосунов Б.И., Уметалиев М.У. аналитические и приближенно-аналитические методы фильтрации и инфильтрации жидкости в различных средах. Бишкек. Илим.1998г.
3. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям Наука, М.: 1971г.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

**АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ВБЛИЗИ
ВОГНУТОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ СРАЩИВАЕМЫХ
АСИМПТОТИЧЕСКИХ РАЗЛОЖЕНИЙ**

Бийбосунов А.И., Бозгунчиев Т.М.

КГНУ им. Ж. Баласагына

Для анализа течения вблизи вогнутой поверхности удобно применять метод сращиваемых асимптотических разложений. В работе Ван-Дайка (1) он был систематически развит и приложен к течениям вязкой жидкости. После этого метод сращиваемых асимптотических разложений был приложен к множеству проблем механики жидкости и газа. Большая часть ранних приложений относилась к вязким течениям. Например, Жермен и Гиро, а также Чоу и Тинг вычислили влияние кривизны на структуру ударной волны. Меррей определил влияние внешней завихренности на пограничный слой вблизи передней кромки плоской пластины и на большом удалении от нее. Независимо от них Праудмен и Пирсон использовали метод для изучения обтекания сферы и кругового цилиндра при малых числах Рейнольдса. Гольдштейн и Имам дали первое правильное развитие решения Блазиуса для пограничного слоя на полубесконечной плоской пластине. Тинг решил задачу о вязком сдвиговом слое между двумя потоками, движущимися с разной скоростью.

Методу сращиваемых асимптотических разложений свойственна потеря граничных условий. Нельзя ожидать, что внешнее разложение будет удовлетворять условиям, которые наложены во внутренней области, и наоборот, внутреннее разложение в общем случае не будет удовлетворять условиям в удаленной области. Но потеря условий восполняется сращиванием.

Сращивание представляет собой основную черту метода. Возможность сращивания основана на существовании области перекрытия, в которой пригодны как внутреннее, так и внешнее разложения. Используя это перекрытие, можно получить точное соотношение между ко-

нечными частными суммами. Реализация этой возможности осуществимо только для возмущения параметра, которое неоднородно в координатах или для возмущения координаты, которое неоднородно по другим координатам. Нельзя срастить два различных параметрических разложения, таких, как разложение для больших и малых значений числа Рейнольдса или числа Маха: невозможно срастить два различных координатных разложения, таких, как разложение для малых и больших значений времени или расстояния. Такие ряды могут перекрываться в том смысле, что они имеют общую область сходимости, но процесс аналитического продолжения дает только приближенное соотношение для некоторого конечного числа членов.

Существование области перекрытия означает, что внутреннее разложение внешнего разложения должно с точностью до соответствующего порядка согласовываться с внешним разложением внутреннего разложения. Этот принцип распространяется на приближения высшего порядка при сохранении дальнейших членов в асимптотических разложениях.

Используется криволинейная ортогональная система координат (X, Y, Z) , где ось X - направлена вдоль вогнутой поверхности в направлении течения, ось Y - по нормали к поверхности, а ось Z - перпендикулярно плоскости (X, Y) . В выбранной системе координат уравнения Навье–Стокса могут быть записаны в безразмерной форме в следующем виде:

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

Здесь 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).

Отметим, что в дальнейшем используются только безразмерные переменные (независимые и искомые).

Предполагается, что кривизна вогнутой поверхности:

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

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

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

Пусть « a », « b » и « c » - 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:

$$\Delta x \sim O(b), \quad \Delta y \sim O(a), \quad \Delta z \sim O(c)$$

уже нельзя будет использовать уравнения сплошной среды (1), поэтому, также очевидно, справедливо следующее соотношение:

$$\varepsilon^2 < a < c < b < 1$$

Таким образом, схема исследуемого течения характеризует вязкий несжимаемый поток, где для его расчета будет использован метод сращиваемых разложений.

Далее выполняется нелинейный асимптотический анализ уравнений Навье-Стокса для случая гидродинамической неустойчивости течения в поле центробежных сил при больших значениях чисел Рейнольдса и Гертлера.

Тогда уравнения (1) могут быть сведены к следующей системе обыкновенных дифференциальных уравнений и тривиальным краевым условиям:

$$\begin{aligned}\beta U_1 + \mathcal{G}_1' + w_1 &= 0 \\ A_1 (\beta Y U_1 + \mathcal{G}_1) &= U'' - U_1 \\ A (\beta Y \mathcal{G}_1 + 2 Y U_1 + \rho_1') &= \mathcal{G}'' - \mathcal{G}_1 \quad (2) \\ A_1 (\beta Y w_1 - \rho_1) &= w'' - w_1 \\ U_1(0) = \mathcal{G}_1(0) = w_1(0) &= 0 \\ U_1(\infty) = \mathcal{G}_1(\infty) = w_1(\infty) &= 0\end{aligned}$$

Сумма порядков последних уравнений равна семи, их можно преобразовать в одно однородное уравнение шестого порядка для функции $\mathcal{G}_1(Y)$. Видно, что (2) – задача на собственные значения: для каждой величины A_1 можно искать одно или несколько значений собственного числа, β , при которых существуют тривиальные решения этой системы уравнений.

Полезно сразу отметить, что в пределе при $A_1 \rightarrow \infty$ уравнения (2) можно свести к одному однородному уравнению второго порядка для функции $U(y)$, например, решение которого выражается через известные полиномы Чебышева – Лагерра и которое имеет дискретный спектр значений собственного числа:

$$\beta_n = \frac{1}{n^2}, n=1,2,3,\Lambda$$

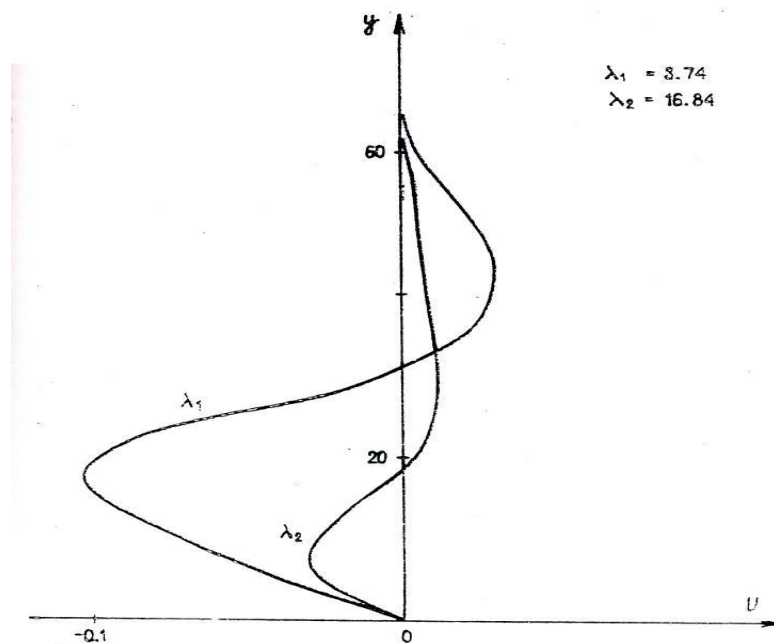
Далее, для численной реализации системы уравнений (2) введем новые обозначения: $U_1 = u$, $A_1 \cdot \mathcal{G}_1 = \mathcal{G}$; $A_1 \cdot \beta = B$; $2A_1^2 = \lambda$ тогда получатся два дифференциальных уравнения с соответствующими граничными условиями:

$$u'' - (1 + BY) \cdot u = \mathcal{G}$$

$$\mathcal{G}^{IV} - (2 + BY)\mathcal{G}'' + (1 + BY) \cdot \mathcal{G} = -\lambda Yu$$

$$u(0) = u(\infty) = 0 \quad \mathcal{G}(0) = \mathcal{G}'(0) = \mathcal{G}(\infty) = \mathcal{G}'(\infty) = 0$$

Данная система решалась методом прогонки. Для каждого значения инкремента нарастания амплитуды вихрей определялось собственное значение местного числа Рейнольдса. Причем, определялись характеристики первых трех основных вихревых мод. Были получены зависимости компонент скорости от координаты «у», также для трех основных мод.



Основные выводы. В нелинейном приближении численно получены распределения компонент скорости по координате, зависимость местного числа Рейнольдса от инкремента роста амплитуды вихрей для первых трех основных вихревых мод.

Разработаны асимптотические методы решения уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Исследованы краевые задачи гидроаэродинамики применительно к ламинарным оползневым и селевым течениям, а также вопросы перехода ламинарных течений к турбулентным потокам и развития вихрей Гертлера, возникающих в оползневых и селевых течениях. Данные решения могут найти также теоретическое и практическое применение в таких областях, как судостроение, в межлопаточных каналах и гидравлических процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике. Москва, изд-во Мир, 1967 г.
2. Peerhossaini H. On the subject of Gortler vortices. Lecture notes in Physics, 1984, ed. S. Zaleski, pp. 376 – 384.
3. Бийбосунов А.И. Неустойчивость в поле центробежных сил при обтекании вогнутой поверхности потоком вязкой сжимаемой жидкости. Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы механики и прикладной математики», посвященной памяти проф. Ф.И. Франкля, г. Бишкек, 1995 г.

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СТРУКТУРОСКОПИЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА САМООБУЧЕНИЯ

Алёшин Ю.Г.

ИГиОН НАН КР

Неполнота априорной информации, состоящая в том, что заранее, как правило, неизвестно ни отношение правдоподобия $f_i(\bar{x})/f_j(\bar{x})$, ни априорные вероятности $P_i \forall i, j \in \overline{1, m}; j \neq i$, является серьёзным препятствием для применения классического байесова подхода [1], да и всех других алгоритмов распознавания, в которых так или иначе используется соотношение вероятностей: P_i/P_j . В этих случаях возникает необходимость в использовании обучающихся алгоритмов, способных после некоторого периода обучения на реальном горном массиве выработать решающее правило, для того чтобы на последующих этапах произвести достоверное распознавание его структуры и свойств. Недостаток априорной информации преодолевается обучением. Чем менее детализирована априорная ФГМ, тем большее время и больше точек опробования необходимо для обучения.

Воспользуемся тем, что априорная модель так или иначе содержит информацию о наличии в массиве горных пород нескольких структурных классов и покажем, что новые решающие правила, способные более достоверно произвести распознавание, могут быть получены единообразным путём с использованием одной и той же обучающей выборки. Специфика распознавания структурных классов в реальных

горных массивах состоит в том, что априорная вероятность присутствия того или иного класса, вследствие геологических закономерностей, существенно зависит от глубины его опробования, т.е. фактически следует рассматривать все процедуры распознавания при условии $P_i(h)$.

Формальная постановка и строгое математическое решение задачи обучения дано В.Я. Цыпкиным [2,3]. Воспользуемся этим аппаратом для решения задачи геофизической структуроскопии.

В ситуации, возникшей при исследовании оползневого склона в Кок-Жангаке, число структурных классов заранее было неизвестно, поэтому информации о принадлежности каких-либо геофизических показателей к тем или иным классам нет и единственный путь формирования системы распознавания – применение методов самообучения. К самообучению приходится прибегать и тогда, когда хотя заранее и известно число классов, однако обучающая выборка не дана, имеются лишь некоторая совокупность геолого-геофизических объектов и значения признаков, которыми они характеризуются, т.е. даны объекты $\omega_1, \dots, \omega_m$ и величины $x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}, x_1^{(2)}, \dots, x_n^{(2)}, x_1^{(m)}, \dots, x_n^{(m)}$, но не указано, к каким классам относятся эти объекты. При этом необходимо обратить внимание на то, что построение самого обучающего алгоритма распознавания во всех случаях базируется на известном, заранее выбранном словаре признаков.

Рассмотрим в общем виде, как может быть выбрана процедура самообучения, когда неизвестно ни число структурных классов, ни априорная вероятности их залегания в исследуемом горном массиве. Априорная информация сводится лишь к известному множеству объектов $\omega_1, \dots, \omega_l$, которые потенциально могут слагать исследуемый массив горных пород, а также значению векторов $\{\bar{x}_j\}_i$, которыми опи-

сывается каждый объект (хотя бы некоторые точечные или интервальные оценки).

Обозначим через $P(A_i)$ вероятность появления геологического объекта класса A_i , а через $f_i(\bar{x})$ условную плотность распределения значений признаков внутри A_i -го класса. Хотя функция $P(A_i)$ и $f_i(x)$ неизвестны, однако относительно совместной плотности распределения вероятностей:

$$f(\bar{x}) = \sum_{i=1}^m P(A_i) f_i(\bar{x}) \quad (1)$$

естественно предположить, что при унимодальных функциях $f_i(\bar{x})$ центрам классов в признаковом пространстве соответствуют существенные максимумы функции $f(\bar{x})$. Поэтому цель самообучения на основе предъявления векторов $\{x\}_t$ и заданных условий объединения объектов в классы состоит в том, чтобы определить совместную плотность распределения, найти её существенные максимумы, а следовательно, и центры классов и тем самым их число m .

Для решения задачи воспользуемся алгоритмом обучения, основанным на методе стохастической аппроксимации [2,3]. Аппроксимируем искомую совместную плотность распределена конечным набором ортонормированных функций $\varphi_j(x)$:

$$\bar{f}(\bar{x}, c) = \sum_{j=1}^N c_j \varphi_j(\bar{x}) = \bar{c}^T \bar{\varphi}(\bar{x}) \quad (2)$$

Введём квадратичную меру уклонения искомой плотности распределения от истинной:

$$J(c) = \int_x^0 \left[f(\bar{x}) - \bar{c}^T \bar{\varphi}(\bar{x}) \right]^2 d\bar{x} \quad (3)$$

Задача состоит в том, чтобы найти такое оптимальное значение вектора $\bar{C} = \bar{C}^0$, которое минимизирует функционал (3), т.е.

$$\bar{C}^0 = \arg \min J(\bar{C}) \quad (4)$$

В силу того, что компоненты вектора функции $\overline{\varphi(\bar{x})}$ ортонормированы, оптимальное значение вектора C определяется следующим образом:

$$\bar{C}^0 = \int \overline{\varphi(\bar{x})} f(\bar{x}) dx = M \{ \overline{\varphi(\bar{x})} \} \quad (5)$$

т.е. равно математическому ожиданию вектора функции $\overline{\varphi(\bar{x})}$, значения реализаций которого могут быть получены на основании априорной информации – величин компонентов векторов информативных параметров $\{\bar{x}_j\}_i$, Я.И. Цыпкиным предложена рекуррентная процедура оценки

$$\bar{C}[n] = \bar{C}[n-1] + \gamma[n] \left[\overline{\varphi(\bar{x}[n])} \right] - \bar{C}[n-1] \quad (6)$$

где: $\gamma[*]$ – элемент диагональной матрицы, обеспечивающий условие сходимости алгоритма обучения.

Зачастую принимается $\gamma[n] = n^{-1}$ для всех компонентов векторов $\bar{C}[n]$, что обеспечивает минимум дисперсии оценки $\bar{C}$ при любом фиксированном значении n .

Определив по (5) значение C^0 и подставив в (6), можно получить функцию: $\bar{f}(\bar{x}C_0^0)$. Её анализ и выявление существенных максимумов позволяет определить число классов, к которым могут быть отнесены объекты изучаемой совокупности, что обеспечивает возможность построения байесовского алгоритма распознавания; эта процедура продемонстрирована нами в /1/.

Рассмотрим конкретный пример использования процедуры обучения в геофизической структуроскопии в условиях обследования того же оползневого склона в пос. Кок-Жангак. Перед началом инженерно-геологических работ эксперты сформировали две альтернативные

ФГМа (априорные), которые основывались на результатах обследования соседних участков, где произошли оползневые процессы:

– ФГМа-1 – горный массив сложен лёссовидными суглинками мощностью от 7 до 10 м и во всяком случае не превышающими 12 м, кровля коренных пород – меловые отложения (по аналогии с оползневой обнажением на участке, расположенном в 300 м от изучаемого);

– ФГМа-2 – та же двухслойная модель, однако мощность покровного чехла от 30 до 50 м по аналогии с участком Сары-Булак, находящимся в 1,5 км от изучаемого.

Распределение или функция плотности вероятности положения кровли коренных пород, исходя из сформулированных предположений, были приняты гауссовским:

$$f_{am}(H) = \frac{1}{\delta_1 \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{(H - a_1)^2}{2\delta_1^2}\right\} \quad (7)$$

где: для модели ФГМа-1 $a_1 = 8$ м, $\delta_1 = 1$ м, $i = 1$;

для модели ФГМа-2 $a_2 = 40$ м, $\delta_2 = 4$ м, $i = 2$.

Относительно положения кровли коренных пород по падению горного склона не было выдвинуто никаких предположений. По умолчанию будем полагать, что она параллельна дневной поверхности. По результатам обучения на малой выборке, объёмом N , как это показано на рис. 1, требуется вынести более определённое суждение о мощности лёссовидных суглинков, перекрывающих коренные породы.

Искомая последовательная оценка априорной вероятности $f_{an}(A_2/H_j)$ на любом n -ом шаге обучения в соответствии с алгоритмом стохастической аппроксимации определяется на основе (6):

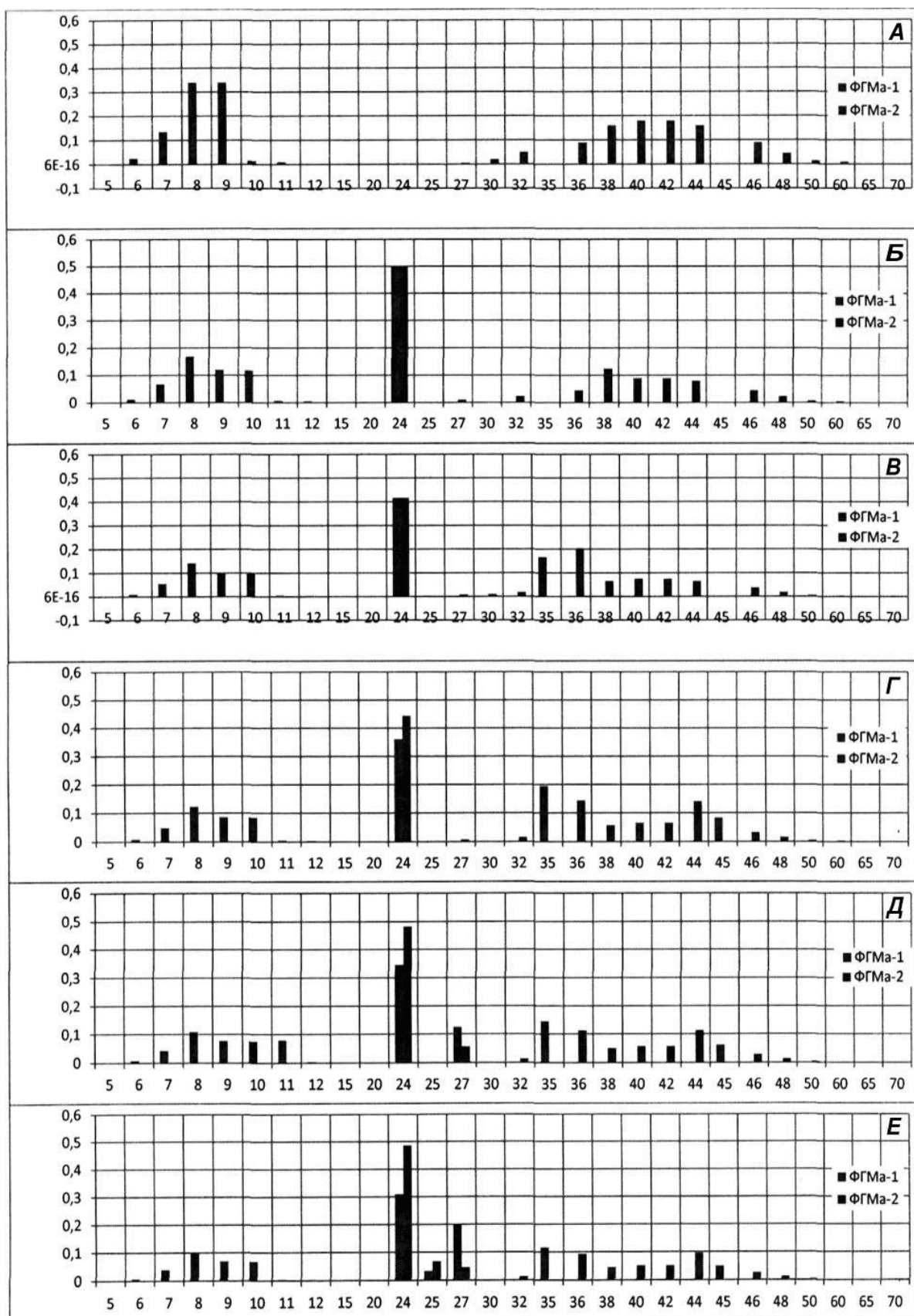


Рис. 1. Трансформация априорных функций плотности вероятности (А) ФГМа-1 и ФГМа-2 по мере получения информации о положении кровли коренных пород по экспериментальным данным: Б- $\eta=1$; В- $\eta=2$;...Е- $\eta=5$.

$$\bar{f}_{an}(A_2/H_j) = \bar{f}_{a(n-1)}(A_2/H_j) + \frac{1}{n} \left[\frac{f_{a0}(A_2/H_j) + K(H_j)}{1+n} - \bar{f}_{a(n-1)}(A_2/H_j) \right] \quad (8)$$

где: $\bar{f}_{a(n-1)}$ – оценка плотности вероятности, полученная на предыдущем шаге обучения после распознавания;
 $K(H_j)$ – количество экспериментов, в которых определён класс A_2 на глубине H_j .

Для удобства вычислений распределение (8) следует дискретизовать и представить в виде типичной гистограммы. На рис. 1, представлены результаты оценки априорного распределения положения кровли коренных пород в период обучения системы распознавания при объёме обучающей выборки N' от 0 до 5 ($n = 0$ соответствует двум априорным моделям ФГМа-1 и ФГМа-2). Хорошо видно, что ни одна из априорных ФГМ, сформированная на основании мнения экспертов, не отражает реальную ситуацию на объекте. В результате проведения обучения средняя мощность четвертичного покрова должна быть принята равной от 23 до 27 м. К этому интервалу значений асимптотически устремляются средние двух исходных ФГМа по мере увеличения объёма обучающей выборки. Важно отметить также и то, что, несмотря на существенное различие в исходных ФГМа- i ($i = 1,2$), в процессе обучения модели довольно быстро сходятся (см. рис. 2) и формируется новая априорная модель ФГМа-3, в которой мощность четвертичного покрова уже определяется распределением, показанным на рис. 1е, с параметрами:

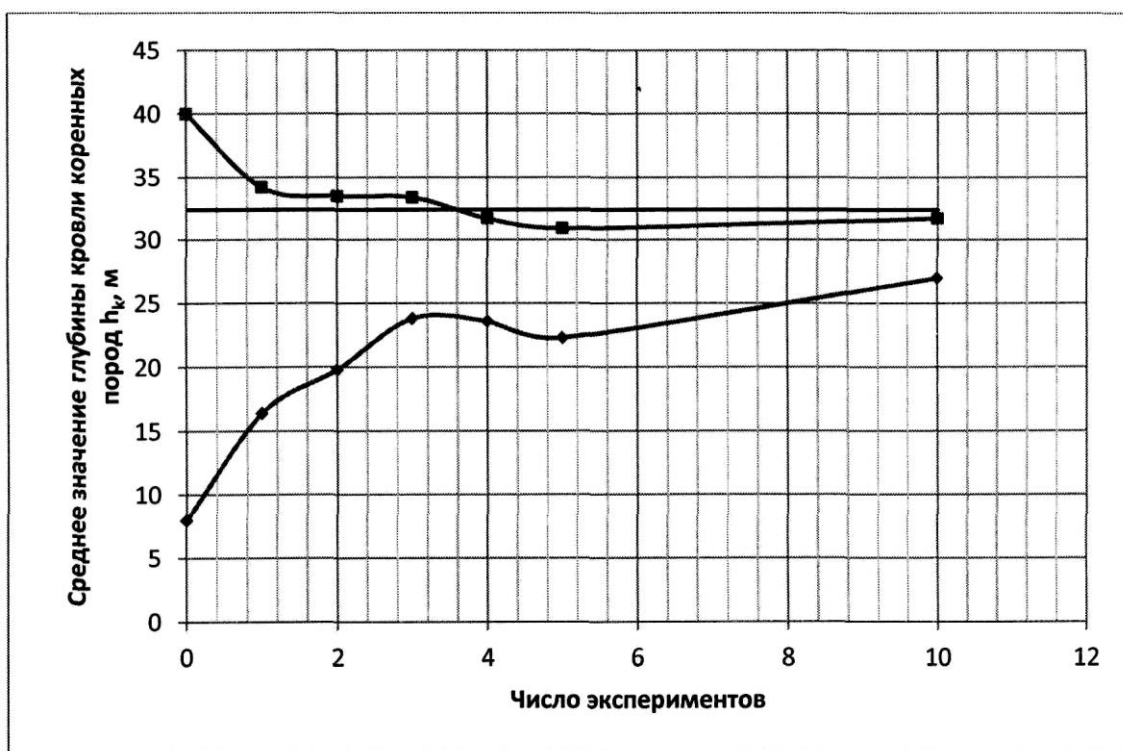


Рис. 2. Конвергенция среднего значения положения кровли коренных пород на оползневом склоне "Интернациональный" по мере получения информации и использовании метода стохастической аппроксимации.

$M\{H\}=26,1$ и дисперсией $\delta^2\{H\} = 106,5 \text{ м}^2$. На оси глубин H в интервале от 6 до 12 м ещё заметны следы распределения "остаточной" вероятности, сформированной ФГМа-1, но не "подавленные" окончательно обучающей выборкой малого объёма. Общую картину сходимости к среднему демонстрирует рис. 2.

По результатам наиболее полного обследования оползневого склона (48 точек опробывания по двум геофизическим профилям) окончательно установлено: среднее значение мощности покровных отложений, включая кору выветривания коренных пород, на оползневом склоне "Интернациональный" в поселке Кок-Жангак составляет 32,7 м при среднеквадратичном отклонений 13,8 м. Вариация результата связана не столько с точностью метода электроразведки, сколько с геологическим фактором – наличием участка разрывного нарушения

в коренных породах, что предопределило чрезвычайно высокую изрезанность кровли коренных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшин Ю.Г. Исследование универсальных статистических алгоритмов распознавания в геофизической структуроскопии: байесовский классификатор // Современные проблемы механики сплошных сред, вып. 9. 2009. С. 26-34.
2. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1958 – 240 с.
3. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. М.: Наука, 1970 – 252с.

ОБТЕКАНИЕ НЕОГРАНИЧЕННЫМ ПОТОКОМ ПРОНИЦАЕМОГО КЛИНА

Абдылдаев М.Ю, Шамуратов К.Т, Искаков Б.О.

Рассмотрим симметричный клин BCA с углом 2α . Щеки CA и CB считаются проницаемыми. При сделанном выборе осей координат (рис.1) решение задачи упрощается. На поверхностях AD и BD модуль скорости равен модулю скорости набегающего потока V_0 .

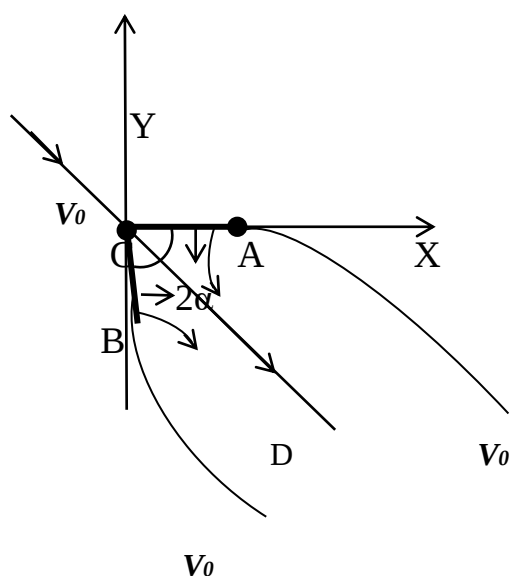


Рис.1. Картина течения в физической плоскости $Z = x + iy$

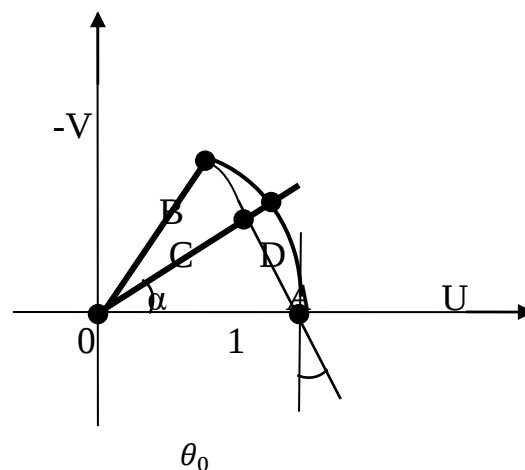


Рис.2. Область течения в плоскости годографа $\bar{z} = U - iV$

1. Изучения обтекания проницаемых поверхностей представляет большой теоретический и практический интерес [1], однако математическое исследование возникающих задач сопряжено со значительными трудностями. Обзор теоретических и экспериментальных работ по обтеканию проницаемых поверхностей несжимаемой жидкостью содержится в [1].

В настоящей работе получено общее решение задачи в параметрической форме.

2. Проницаемые щеки клина моделируются поверхностями гидродинамических разрывов с граничными соотношениями [2.3]

$$[V(X; +0) = V(X; -0) \equiv V_n]_{CA} \quad (2.1)]$$

$$\left| dw/dz \right|_{CB} = const, \quad (2.2) \quad K * \rho \left| dw/dz \right| = P_1 -$$

$$P_2 \quad (2.3)$$

которые выражают закон сохранения массы и линейный закон протекания жидкости. Перед контуром в потоке течение безвихревое. За проницаемой поверхностью находится зона завихренного течения с прямолинейными линиями тона. Предположение о прямолинейности линий тока за контуром эквивалентно предположению о постоянстве давления во вторичном потоке.

В области безвихревого движения перед контуром справедлив интеграл Бернулли. $\rho(U^2 + V^2) + 2P = \rho V_0^2 + 2P_0$.

Используя (2.3), получаем граничное условие задачи

$$U_1^2 + V_1^2 + 2aU_1 = 1, \quad (2.4)$$

где U_1 и V_1 – безразмерные величины, $a = \frac{K}{V_0}$

Формула (2.4) справедлив для области z_0 , т.е. после преобразование области z к области $z_0 (z_0 = z e^{-i\alpha})$ (рис. 3).

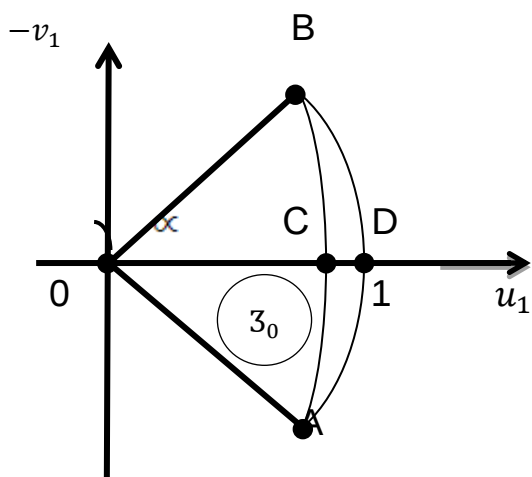


Рис. 3 Область течения в плоскости годографа $z_0 = u_0 - iv_0$

3. В плоскости годографа скорости z области течения соответствует круговой луночке (рис.2). Свободные линии тока AD и BD на которых выполняется условие $u^2 + v^2 = 1$, переходит в дугу единичной окружности, лежащую в первой четверти. Соотношение (2.4) на пролицируемых поверхностях равносильно условию:

$(U_1 + a_0)^2 + V_1^2 = (\sqrt{1 + a_0^2})^2$, поэтому линии ВСА соответствует дуга окружности с центром в точке $(-a; 0)$ и радиусом $\sqrt{1 + a_0^2}$, эта окружность пересекает ось U_1 в точке $(\sqrt{1 + a_0^2} - a_0, 0)$.

Введем параметрическую переменную $t = \xi + i\eta$, такую, что в плоскости (t) области течения соответствует верхняя полуплоскость $Im(t) > 0$, а границе области течения соответствует действительная ось ξ (рис.4).

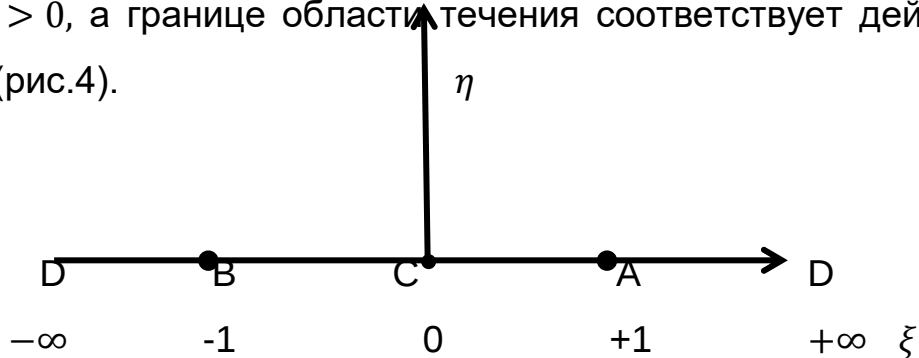


Рис.4 параметрическая плоскость $t = \xi + i\eta$.

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

$$z_1(t) = \frac{z + 1}{z - 1}; \quad z_2 = z_1 + ictga; \quad z_3 = z_2 e^{i\lambda_0};$$

$$z_4 = \ln \frac{z_3}{|z_{2c}|}; \quad z_4 = \ln \left\{ \frac{1+t}{1-t} \right\}^\beta \left(\lambda_0 = \frac{\pi}{2} + \theta_0; \beta = \frac{\theta_0}{\pi} \right)$$

Здесь θ_0 – угол между касательными линиями в точке A(B)(рис.2). Отображение $z(t)$ дает формула

$$3(t) = -\frac{1-ictga+ne^{-i\lambda_0}\left\{\frac{1+t}{1-t}\right\}^\beta}{1+ictga-ne^{-i\lambda_0}\left\{\frac{1+t}{1-t}\right\}^\beta} \quad (3.1) \quad (n = |\zeta_{2c}|)$$

В формуле (3.1) обеспечено нужное соответствие характерных точек границы:

$$3(\pm\infty) = e^{i\alpha}; \quad 3(1) = 1; \quad 3(-1) = e^{i2\alpha}; \quad 3(\pm 0) = \left\{\frac{V_c}{V_0}\right\} e^{i\alpha}.$$

4. Далее будем искать $Z = Z(t)$. Сначала найдем вспомогательную функцию [4]:

$$\chi(t) = \ln \frac{dz}{dt} = a + ib, \quad (4.1)$$

$$a = \ln \left| \frac{dz}{dt} \right|; \quad b = i \arg \left(\frac{dz}{dt} \right);$$

Найдем $b(t)$ при $t = \xi$ т.е. на действительный оси.

$$DB, \quad -\infty < \xi < -1, \quad b(\xi) = \pi - \alpha + \arg \zeta(\xi),$$

$$BC, \quad -1 < \xi < 0, \quad b(\xi) = \pi - 2\alpha,$$

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

$$AD, \quad 1 < \xi < +\infty, \quad b(\xi) = \pi - \alpha + \arg \zeta(\xi)$$

$$\Lambda(\xi) = \arg 3(\xi) = \arctg \frac{V(\xi, 0)}{U(\xi, 0)}$$

Для упрощения расчета сделаем дополнительное дробно-линейное преобразование верхней полуплоскости t на себя:

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

Перейдем к модифицированным функциям $\chi_1(w)$, $\Lambda_1(\gamma)$, $\Lambda_2(\gamma)$:

$$\chi(w) = \chi[t(w)], \quad \Lambda_1^*(\gamma) = -K_1 \Lambda_1\left(\frac{\gamma}{2(\gamma+1)}\right), \quad \Lambda_2^*(\gamma) = -K_2 \Lambda_2\left(\frac{\gamma}{2(\gamma+1)}\right).$$

$$(K_1 = K_2 = \alpha/\pi)$$

В результате получаем следующую вспомогательную краевую задачу для отыскания в верхней полуплоскости W аналитической функции $\chi_1(w)$ по значению ее мнимой части на действительной оси γ :

$$\gamma: \quad -\infty < \gamma < -2, \quad b(\gamma) = 0,$$

$$-2 < \gamma < -1, \quad b(\gamma) = (\pi - \alpha) + K_1 \Lambda_1^*(\gamma),$$

$$-1 < \gamma < -2/3, \quad b(\gamma) = \pi + K_2 \Lambda_2^*(\gamma),$$

$$-2/3 < \gamma < 0,$$

$$b(\gamma) = \pi - 2\alpha,$$

$$0 < \gamma < +\infty,$$

$$b(\gamma) = 0.$$

Следовательно функцию $\chi_1(w)$ можно восстанавливать по формуле

Шварца [4]:
$$\chi(w) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\ln X_1(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma + C = \ln \left\{ \frac{2+W}{w} \frac{2+3W}{2w} \right\}^{\alpha/\pi} \frac{w}{2+W} +$$

$$\frac{a}{\pi} \int_{-2}^{-1} \frac{\Lambda_1^*(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma + \frac{\alpha}{\pi} \int_{-1}^{-2/3} \frac{\Lambda_2^*(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma + C$$

Используя (3.1)-(4.1), находим иско-
мую функцию $z(t)$ в виде:

$$Z(t) = -C_0 \int_0^t \left\{ \frac{1 - \tau^2}{\tau^2} \right\}^{a/\pi} \frac{\tau}{1 + \tau} \exp \left(\frac{\alpha}{\pi} \int_{-2}^{-1} \frac{\Lambda_1^*(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma \right. \\ \left. + \frac{\alpha}{\pi} \int_{-1}^{-2/3} \frac{\Lambda_2^*(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma \right) d\tau \quad (4.3)$$

где

$$\Lambda_1^*(\gamma) = \arctg \frac{\sin 2\alpha (2 + 3\gamma)^{2\beta} + \cos \theta_0 (4 + 4\gamma - 3\gamma^2)^\beta}{(2 + 3\gamma)^{2\beta} + 2ctga \cos \theta_0 (4 + 4\gamma - 3\gamma^2)^\beta}$$

.

$$\Lambda_1^*(\gamma) = \Lambda_2^*(\gamma) \quad (4.4)$$

Формулы (3.1) и (4.3) дают общее решение задачи о на бегании плоского потока идеальной несжимаемой жидкости на симметричную плоскую проницаемую поверхность. Положительная действительная постоянная C_0 в (4.3) определяется из условия, что длина щеки клина $|CA| = |CB|$ равна :

$$|CA| = l_1 = -C_0 \int_0^{-1} \left\{ \frac{-\tau^2}{\tau^2} \right\}^{a/\pi} \frac{\tau}{1 + \tau} \exp \left(\frac{\alpha}{\pi} \int_{-2}^{-1} \frac{\Lambda_1^*(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma \right. \\ \left. + \frac{\alpha}{\pi} \int_{-1}^{-2/3} \frac{\Lambda_2^*(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma \right) d\tau \quad (4.5)$$

С помощью формуле (3.1) и (4.3) можно вычислить давление в каждой точке области течения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахматулин Х.А., Гувернюк СВ., О постановке задач обтекания проницаемых тел несжимаемой средой// Парашюты и проницаемые тела.М: Изд. МГУ, 1987.
2. Бучин В.А. Решение задачи об обтекании проницаемой пластинки с отрывом струй.//Докл. АН СССР, 1983.Т269.№6.С. 1331-1335.
3. Андронов П.Р, СВ. Гувернюк. Решение задачи о плоской струе, натекающей на бесконечный проницаемый экран// Проблемы современной механики. М: Изд, МГУ ин-т механики 1998.С179-185.
4. Лаврентьев М.А.,Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. Изд. М.: Наука 1973. 606с.
5. Гуревич. //Теория струй идеальной жидкости. Гос. изд. физ-мат. Литературы. Москва, 1961 г

ПЛОСКАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ СОПЛА ЛАВАЛЯ ДЛЯ ГАЗА ЧАПЛЫГИНА

Дыйканова А.Т, Туганбаев У.М

Кыргызский Национальный аграрный университет им. К.И.Скрябина

В работе методом годографа построено непрерывное плоско-параллельное потенциальное течение идеального газа в сопле Лаваля, для газа Чаплыгина, которое обладает криволинейной звуковой линией перехода от дозвуковых скоростей к сверхзвуковым.

Данная краевая задача решается методом малых возмущений, причем используются первые три члена разложения. Учет следующих приближений ощутимого вклада не дает.

Линеаризация уравнения Чаплыгина, записанного в форме Томотика-Тамада и краевого условия, была осуществлена на основании групповых свойств дифференциальных уравнений. Решение уравнения найдено в автомодельной форме.

Известно, что газодинамическое уравнение в плоскости годогра-

$$\begin{aligned} \theta_\varphi &= \sigma_\psi \\ \text{фа записывается в виде [2]} \quad \theta_\psi &= -K(\sigma) \sigma_\varphi \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь φ - потенциал скорости потока, ψ - функция тока, θ - угол

наклона вектора скорости потока, $\sigma = k \int_1^q \frac{\rho}{q} dq$, $K(\sigma)$ - безразмерные

функции скорости. Исключая угол наклона вектора скорости потока, получаем уравнение $\sigma_{\psi\psi} + \frac{\partial}{\partial\varphi} [K(\sigma)\sigma_\varphi] = 0$ (2)

Итак ставится следующая краевая задача для двумерного стационарного уравнения (2). Требуется найти решение уравнения (2) со следующими краевыми условиями: $\sigma(\varphi, \psi)|_{\substack{\psi=0 \\ \varphi=0}} = 0$ - в центре сопла,

$$\chi(\varphi, \psi)|_{\psi=\psi_0} = q(\sigma)\sigma_\psi \text{ - на стенке сопла,} \quad (3)$$

$$\sigma(\varphi, \psi) = \sigma(\varphi, -\psi) \quad \text{- условие симметричности.}$$

Из групповых свойств дифференциальных уравнений [1] следует, что уравнение (2) и граничные условия (3) допускают однопараметрическую группу преобразований подобия, оставляющих эти уравнения инвариантными самим себе.

Пусть угол наклона вектора скорости θ растягивается как $\theta \Rightarrow \varepsilon^{3/2}\theta$, тогда законы растяжения для φ, ψ, σ и $\chi(\sigma)$ имеют вид

$$\varphi \Rightarrow \varepsilon\varphi, \quad \psi \Rightarrow \varepsilon^{1/2}\psi, \quad \sigma \Rightarrow \varepsilon\sigma, \quad \chi(\sigma) \Rightarrow \varepsilon^{1/2}\chi(\sigma) \quad (*)$$

$$\text{Решение уравнения (2) ищем в форме } \sigma = \sigma_0 + \varepsilon\sigma_1 + \varepsilon^2\sigma_2 + \dots \quad (4)$$

Тогда, подставляя предполагаемое решение (4) в уравнение (2) и группируя члены по одинаковым степеням ε , имеем следующие ре-

$$\text{куррентные уравнения } \sigma_{0\psi\psi} = (\sigma_0^2)_{\varphi\varphi}, \quad (5)$$

$$\sigma_{1\psi\psi} - 2[\sigma_0\sigma_{1\varphi\varphi} + 2\sigma_{0\varphi}\sigma_{1\varphi} + \sigma_{0\varphi\varphi}\sigma_1] = c_1(\sigma_0^3)_{\varphi\varphi}, \quad (6)$$

$$\sigma_{2\psi\psi} - 2[\sigma_0\sigma_{2\varphi\varphi} + 2\sigma_{0\varphi}\sigma_{2\varphi} + \sigma_{0\varphi\varphi}\sigma_2] = (\sigma_1^2 + 3c_1\sigma_0^2\sigma_1 + c_2\sigma_0^4)_{\varphi\varphi}, \quad (7)$$

--- --- --- --- ---

Соответствующие краевые условия записываются следующим образом: для уравнения (5)

$$\sigma_0(\varphi, \psi)|_{\substack{\psi=0 \\ \varphi=0}} = 0$$

$$\sigma_{0\psi}|_{\psi=\psi_0} = \frac{\chi_0(\varphi, \psi_0)}{a_n} \text{ - на стенке сопла} \quad (8)$$

$$\sigma_0(\varphi, \psi) = \sigma_0(\varphi, -\psi) \quad \text{- условие симметричности}$$

для первого приближения (6)

$$\sigma_1(\varphi, \psi) \Big|_{\substack{\psi=0 \\ \varphi=0}} = 0,$$

$$\sigma_{1\psi} \Big|_{\psi=\psi_0} = \frac{\chi_1(\varphi, \psi_0) - a_n D \sigma_0 \sigma_{0\psi}}{a_n \lambda} \quad \text{- на стенке сопла,} \quad (9)$$

$$\sigma_1(\varphi, \psi) = \sigma_1(\varphi, -\psi) \quad \text{- условие симметричности}$$

для второго приближения (7)

$$\sigma_2(\varphi, \psi) \Big|_{\psi=0} = 0,$$

$$\sigma_{2\psi} \Big|_{\psi=\psi_0} = \frac{\chi_1(\varphi, \psi_0) - a_n D (\sigma_0 \sigma_{1\psi} + \sigma_{0\psi} \sigma_1)}{a_n D} \quad \text{- на стенке сопла,} \quad (10)$$

$$\sigma_2(\varphi, \psi) = \sigma_2(\varphi, -\psi) \quad \text{- условие симметричности}$$

Подставляя выражения (4) в систему уравнений (1), получаем системы уравнений для определения второй неизвестной функции θ

$$\begin{cases} \theta_{0\varphi} = \sigma_{0\psi} \\ \theta_{0\psi} = (\sigma_0^2)_{\varphi}, \end{cases} \quad \begin{cases} \theta_{1\varphi} = \sigma_{1\psi} \\ \theta_{1\psi} = (2\sigma_0\sigma_1 + c\sigma_0^3)_{\varphi}, \end{cases} \quad \begin{cases} \theta_{2\varphi} = \sigma_{2\psi} \\ \theta_{2\psi} = (\sigma_1^2 + 2\sigma_0\sigma_2 + 3c_1\sigma_0^2\sigma_4 + c_2\sigma_0^4)_{\varphi} \end{cases} \quad (11)$$

Решение уравнения (5) ищется в автомодельной форме

$$\sigma_0(\varphi, \psi) = \psi^{n-2} Q_0(\eta), \quad \eta = \varphi/\psi^n, \quad (12)$$

где после подстановки его в уравнение (5) имеем

$$(n^2\eta^2 - 2Q_0)Q_0'' - [(3n-5)m\eta + 2Q_0']Q_0' + 2(n-1)(2n-3)Q_0 = 0 \quad (13)$$

При $n=2$ получаем следующее точное решение уравнения (13):

$$Q_0(\eta) = a\eta + a^2, \quad (14)$$

$$\text{откуда} \quad \sigma_0(\varphi, \psi) = a\varphi + a^2\psi^2 \quad (15)$$

где a - произвольная постоянная.

Это решение описывает поток в сопле Лаваля при его переходе от дозвуковой скорости к сверхзвуковому в критическом сечении и удовлетворяет краевым условиям (8). Далее находим кривизну сопла

$$\chi(\varphi, \psi) \Big|_{\psi=\psi_0} = \frac{a_n a^2}{\gamma + 1} \psi_0 = \text{const}, \quad (16)$$

которое имеет постоянную кривизну.

Уравнение звуковой линии записывается в виде $\varphi = -a\psi^2$, (17)

а для предельных характеристик имеем выражения

$$\varphi = -\frac{a}{2}\psi^2, \quad \varphi = \frac{a}{4}\psi^2. \quad (18)$$

Далее рассматриваются сопла, кривизна которых отличается от кривизны кругового сопла в окрестности критического сечения. Для этого решаются уравнения следующих двух приближений. При этом кривизна кругового сопла и решение околосвукового приближения принимаются как за главные.

Поскольку однородная часть уравнений (6) и (7) имеет одну и ту же форму, поэтому автомодельный класс решений целесообразно искать сразу для уравнения m -го приближения.

$$\sigma_{m\psi\psi} - 2a[(\varphi + a\psi^2)\sigma_{m\varphi\varphi} + 2\sigma_{m\varphi\psi}] = 0, \quad (19)$$

решение которого ищется в форме

$$\sigma_m(\varphi, \psi) = \psi^{2m+2} f_m(\eta), \quad \eta = \varphi/\psi^2. \quad (20)$$

Подставляя это решение и вводя новую переменную

$\xi = \frac{2}{3a}\eta + 1$, получим гипергеометрическое уравнение Гаусса

$$\xi(1-\xi)Q_m'' + \left[\frac{4m+1}{2}\xi + \frac{1-12m}{6} \right] Q_m' - \frac{(m+1)(2m+1)}{2} Q_m = 0, \quad (21)$$

двумя линейно-независимыми решениями, которого в окрестности особой точки $\xi = 0$ являются следующие функции:

$$Q_{1m}(\xi) = A_m F\left[-(m+1), -\frac{2m+1}{2}, \frac{1-12m}{6}; \xi \right] \quad (22)$$

$$Q_{2m}(\xi) = B_m \xi^{(12m+5)/6} F\left(\frac{6m-1}{6}, \frac{3m+1}{3}, \frac{-12m+11}{6}; \xi \right). \quad (23)$$

Полагая здесь $m=1$, получаем

$$Q_{11} = A_1 F(-2, -3/2, -11/6; \xi) \quad (24)$$

$$Q_{21} = B_1 \xi^{17/6} F(-5/6, 4/3, -1/6; \xi) \quad (25)$$

Второе из решений не удовлетворяет краевому условию, поэтому решение однородной части уравнения (6) записывается

$$\sigma_{10}(\varphi, \psi) = 3\varphi^2 - 6a\varphi\psi^2 - 2a^2\psi^4. \quad (26)$$

Далее найдем частное решение уравнения первого приближения

$$(2\eta^2 - a\eta - a^2)Q_1'' - (5\eta + 2a)Q_1' + 6Q_1 = 3a^3c_1(\eta + a), \quad (27)$$

которое ищется в виде полинома второй степени

$$Q_{11}(\eta) = b_0\eta^2 + b_1\eta + b_2 \quad (28)$$

$$\text{отсюда } \sigma_{11}(\varphi, \psi) = b_0\varphi^2 + b_1\varphi\psi^2 + b_2\psi^4, \quad (29)$$

где $b_1 = 6ab_0 + 3a^3c_1$, $b_2 = \frac{1}{6}(14a^2b_0 + 9a^4c_1)$, a, b_0 - произвольные постоянные.

Значит, решением первого приближения является

$$\sigma_1(\varphi, \psi) = \alpha \sigma_{10}(\varphi, \psi) + \beta \sigma_{11}(\varphi, \psi). \quad (30)$$

Для нахождения решения однородной части второго приближения полагаем в выражении (19) $m=2$, из которого находим одно из линейно-независимых решений, удовлетворяющее граничному условию (10)

$$\sigma_{20}(\varphi, \psi) = 15\varphi^3 - 18a\varphi^2\psi^2 + 60a^2\varphi\psi^4 + 8a^3\psi^6 \quad (31)$$

Для нахождения частного решения имеем следующее уравнение:

$$(2\eta^2 - a\eta - a^2)Q_2'' - (9\eta + 2a)Q_2' + 15Q_2 = b_6\eta^2 + b_7\eta + b_8 \quad (32)$$

откуда его решение записывается

$$Q_{21}(\eta) = D_1\eta^3 + D_2\eta^2 + D_3\eta + D_4, \quad (33)$$

$$\text{где } D_2 = b_6 + 24aD_1, \quad D_3 = \frac{1}{6}(6b_6 + 15a^2D_1 + b_7),$$

$$D_4 = \frac{1}{45}(6ab_6(a+1) + (b_7 + 300a^2D_1)a + 3b_8),$$

D_1 - произвольная постоянная.

$$\text{Тогда } \sigma_{21}(\varphi, \psi) = D_1\varphi^3 + D_2\varphi^2\psi^2 + D_3\varphi\psi^4 + D_4\psi^6 \quad (34)$$

А общее решение второго приближения имеет вид

$$\sigma_2(\varphi, \psi) = \alpha_1\sigma_{20}(\varphi, \psi) + \beta_1\sigma_{21}(\varphi, \psi), \quad (35)$$

которое удовлетворяет граничному условию (10).

Явные виды искомых функций θ_0 , θ_1 , θ_2 определяются из системы уравнений (11) и имеют вид

$$\theta_0(\varphi, \psi) = 2a^2\psi(\varphi + \frac{a}{3}\psi^2), \quad (36)$$

$$\theta_1(\varphi, \psi) = \psi \left[b_1\varphi^2 + 4b_2\varphi\psi^2 + \frac{2a^3}{5}(25b_0 + 18a^2c_1)\psi^4 \right], \quad (37)$$

$$\theta_2(\varphi, \psi) = \psi \left[\frac{2D_2}{3}\varphi^3 + 2D_3\varphi^2\psi^2 + 6D_4\varphi\psi^4 + D_5\psi^6 \right]. \quad (38)$$

где
$$D_5 = \frac{1}{7}(2b_1b_2 + 3c_1a^4b_1 + 2a^2b_3 + 2a\lambda_4 + a^3(6b_2c_1 + 4a^4c_2)).$$

Далее находятся поправки к кривизне кругового сопла. Первая поправка кривизны находится из краевого условия (9)

$$\chi_1(\varphi, \psi)|_{\psi=\psi_0} = P_1\varphi\psi_0 + P_2\psi_0^3, \quad (39)$$

а вторая из последнего краевого условия (10)

$$\chi_2(\varphi, \psi)|_{\psi=\psi_0} = P_3\varphi^2\psi_0 + P_4\varphi\psi_0^3 + P_5\psi_0^5, \quad (40)$$

Итак, кривизна сопла с учетом трех приближений имеет вид

$$\begin{aligned} \chi(\varphi, \psi)|_{\psi=\psi_0} &= \chi_0 + \varepsilon\chi_1(\varphi, \psi_0) + \varepsilon^2\chi_2(\varphi, \psi_0) + \dots = \\ &= P_0\psi_0 + \varepsilon(P_1\varphi\psi_0 + P_2\psi_0^3) + \varepsilon^2(P_3\varphi^2\psi_0 + P_4\varphi\psi_0^3 + P_5\psi_0^5) + \dots, \end{aligned}$$

(41) где P_i - известные коэффициенты, выраженные через произвольные постоянные a , b_0 , D_1 . Здесь $i = 0, \dots, 5$.

$$\text{Задавая стенку сопла в виде } \chi(\varphi, \psi) = g_0 + \varepsilon g_1\sigma + \varepsilon^2 g_2\sigma^2 + \dots, \quad (42)$$

$$\text{Или } \chi(\varphi, \psi) = q_0 + \varepsilon q_1\theta + \varepsilon^2 q_2\theta^2 + \dots, \quad (43)$$

можно определить эти постоянные.

Переход на физическую плоскость осуществляется при помощи формул Чаплыгина

$$dx = \frac{\cos\theta}{q}d\varphi - \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\sin\theta}{q}d\psi \quad (44)$$

$$dy = \frac{\sin\theta}{q}d\varphi + \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\cos\theta}{q}d\psi \quad (45)$$

и была построена картина течения в сопле Лавалья на этой плоскости (см.рис.1)

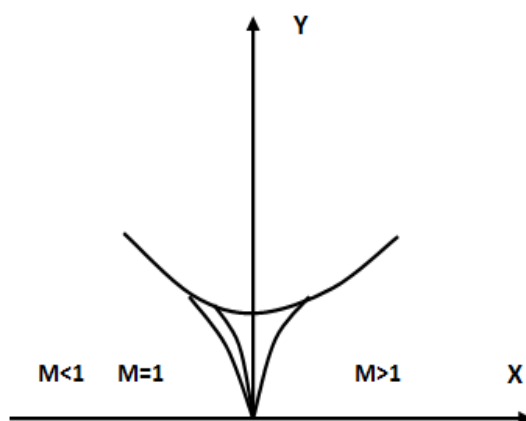


Рис.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овсянников Л.В. Групповые свойства дифференциальных уравнений. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962.
2. Томотика С., Тамада К. Двумерное смешанное течение сжимаемой жидкости. – В кн.: Механика: ИЛ, 1951, ч.1, вып.6.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВОБРАЗЦАХ ИЗ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Аманалиев А.А., Казакбаева Г.О.

ИГиОН НАН КР

Существующие в настоящее время экспериментальные методы определения остаточных напряжений разделяются на механические и физические. Наиболее распространенными и универсальными являются механические методы, основанные на разгрузке объема материала при его освобождении от остаточных напряжений. Разгрузка материала от остаточных напряжений может производиться либо с полным разрушением, либо частичным разрушением объекта исследования.

Физические методы не требуют разрушения исследуемого материала для определения остаточных напряжений, но относительная трудоемкость при изучении физико-механических свойств ограничивает их возможность. Используемым в настоящее время физическим методам определения остаточных напряжений относятся методы: поляризационно-оптический, магнитоупругости, рентгенографический, голографической интерферометрии, акустической эмиссии, ультразвуковой и т.д. Высокая эффективность поляризационно-оптического метода обеспечивается наглядностью и надежностью получаемых результатов, возможность простыми средствами и способами качественного и количественного определения напряжений. Поэтому этот

метод является одним из основных экспериментальных методов исследования остаточных напряжений.

В виду проблем определения остаточных напряжений в массиве горных пород и трудностей возникающие при аналитическом решении задач связанных с остаточными напряжениями, актуальными становятся вопросы разработки комбинированных экспериментально-расчетных методов решения таких задач. В этих методах, на базе полученных экспериментальных данных измерения остаточных напряжений строятся расчеты по определению напряжений на основе известных теорий и численных методов, которые затем проверяются экспериментально и выбираются оптимальные параметры для конкретных объектов[1].

Для проведения экспериментальных исследований остаточных напряжений были изготовлены из оптически активного материала по известной методике и технологии, образцы в форме правильного параллелепипеда, моделирующие образцы горных пород [2, 3].

Экспериментальные данные по оптическому моделированию распределения остаточных напряжений в образцах были представлены через главные нормальные и максимальные касательные напряжений[2]. Для анализа и последующего использования этих данных при математическом моделировании необходимы горизонтальные и вертикальные компоненты нормальных напряжения и касательные напряжения. Так как горизонтальные и вертикальные нормальные напряжения вычислены в результате обработки данных эксперимента, то остается вычислить касательные по известным выражениям. Нами для этого использована следующая формула, по которой определяется и знак касательных напряжений[2]:

$$\tau_{xy} = \tau_{max} \sin 2\alpha,$$

где α - угол главного направления, определяемый в ходе эксперимента.

После статистической обработки опытных данных мы получаем результаты в виде таблиц или графиков. Во многих случаях ставятся задачи определить на основе полученных таблиц или графиков аналитическое выражение аппроксимирующую (или интерполирующую) функцию для опытных данных. Наиболее распространенным является в этом случае приближение по методу наименьших квадратов с использованием полинома или тригонометрических функций. Экспериментальные данные это в основном дискретные величины. Поэтому, для получения на их основе функциональных зависимостей и последующего математического анализа, применение формул Бесселя позволяет перейти от дискретных значений эксперимента к приближенным математическим функциям, разложенных в ряды Фурье. При этом, средняя квадратическая ошибка равной $\delta^2 = \frac{1}{T} \int [f(x) - S_n(x)]^2 dx$ будет наименьшей.

При исследовании в лабораторных условиях поляризационно-оптическим методом моделирования образцов из твердого оптически активного материала с остаточными напряжениями [3], были получены величины главных и максимального касательного напряжений, в виду специфики метода, по горизонтальной и вертикальной сечениям вдоль осей симметрии образца. Для анализа были выбраны однородные образцы из оптически активного материала с остаточными напряжениями. Математическая обработка лабораторных данных и их последующий анализ проведены с использованием приближенного гармонического анализа в виду периодического изменения величин напряжений, полученных экспериментальным путем[5].

По данным для 14 однородных образцов с остаточными напряжениям [3], были вычислены коэффициенты рядов Фурье a_0 , a_k и b_k ($k=1, 2, \dots, 13$) на основе формул Бесселя[4, 5]:

горизонтальное сечение

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos k\omega x + b_k \sin k\omega x), \\ \sigma_y &= \frac{\bar{a}_0}{2} + \sum_{k=1}^n (\bar{a}_k \cos k\omega x + \bar{b}_k \sin k\omega x), \\ \tau_{xy} &= \frac{\widetilde{a}_0}{2} + \sum_{k=1}^n (\widetilde{a}_k \cos k\omega x + \widetilde{b}_k \sin k\omega x),\end{aligned}\tag{1}$$

вертикальное сечение

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{j=1}^m (\alpha_j \cos jwy + \beta_j \sin jwy), \\ \sigma_y &= \frac{\bar{\alpha}_0}{2} + \sum_{j=1}^n (\bar{\alpha}_j \cos jwy + \bar{\beta}_j \sin jwy), \\ \tau_{xy} &= \frac{\widetilde{\alpha}_0}{2} + \sum_{j=1}^n (\widetilde{\alpha}_j \cos jwy + \widetilde{\beta}_j \sin jwy).\end{aligned}\tag{2}$$

где $a_0, a_k, b_k, \bar{a}_0, \bar{a}_k, \bar{b}_k, \widetilde{a}_0, \widetilde{a}_k, \widetilde{b}_k$ – соответствующие коэффициенты ряда Фурье по горизонтальному сечению, $\alpha_0, \alpha_j, \beta_j, \bar{\alpha}_0, \bar{\alpha}_j, \bar{\beta}_j, \widetilde{\alpha}_0, \widetilde{\alpha}_j, \widetilde{\beta}_j$ – по вертикальному сечению, ω и w – круговые частоты по длине и высоте образца соответственно.

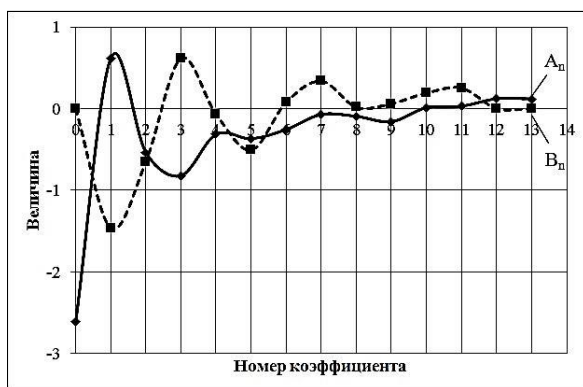
По описанной в [5] методике, составлена программа расчета на языке Паскаль. Для проверки точности полученных результатов, были построены графики исходных и расчетных данных. Эти графики совпадают во всех точках.

Для анализа более наглядное представление имеют отображение полученных данных в виде графиков. Ниже приводятся графики

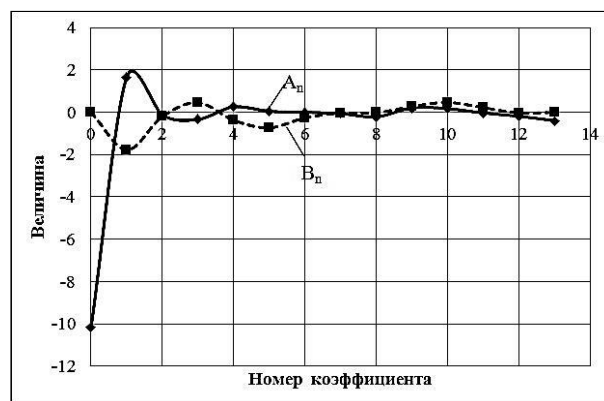
средних величин коэффициентов a_0 , a_k и b_k рядов Фурье для компонентов напряжений σ_x , σ_y и τ_{xy} по горизонтальному и вертикальному сечениям. Из рисунка 1 видно, что наибольшее значение по абсолютной величине имеет коэффициент a_0 , при этом максимальное значение равно 13,6, а минимальное – -30,92, т.е. разброс значений 44,52. Среднее значение по 14 данным равно -2,61. По мере увеличения порядка коэффициента значение по абсолютной величине уменьшается в среднем до $a_7 = -0,071$, а затем после небольшого роста, наименьшего значения достигает при коэффициенте $a_{10} = 0,013$.

По формулам (1, 2) значение коэффициентов b_0 и b_k равны нулю, поэтому наибольшего по абсолютной величине значение принимает коэффициент b_2 , которая равна -1,463. Далее по мере увеличения порядка коэффициента, если рассматривать коэффициенты до b_{10} , так как в последующих коэффициентах уменьшается общее число варьируемых величин, то минимального значения по среднему, достигается при коэффициенте $b_8 = 0,018$.

Из рисунка 1 следует, что для приближенного анализа σ_x по горизонтальному сечению достаточно взять до восьмь коэффициентов, потому что $b_8 = 0,018$ и далее коэффициенты при b_k незначительно растут и начинают колебаться вокруг нуля. Последний коэффициент b_k должен быть равен нулю согласно формулам (1, 2), тогда если принят $b_8 = 0$, то погрешность при этом составит 1,8%. а для a_8 – 2,3%.



σ_x



σ_y

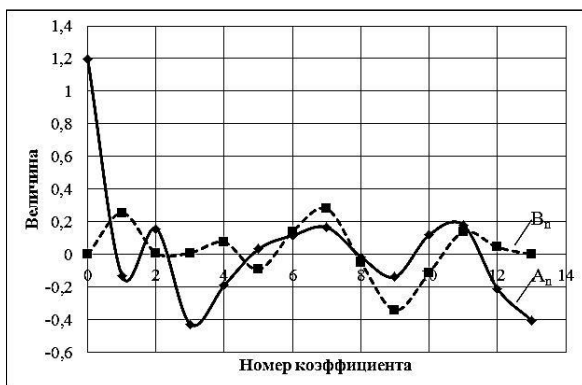
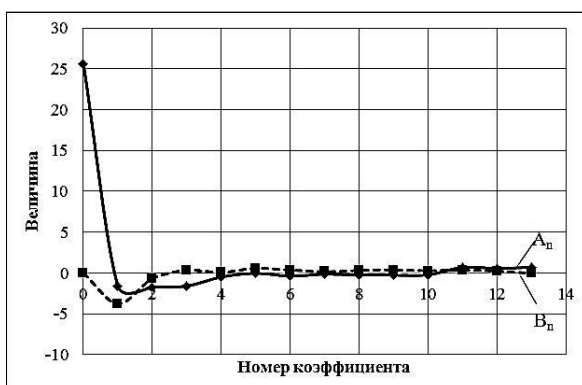
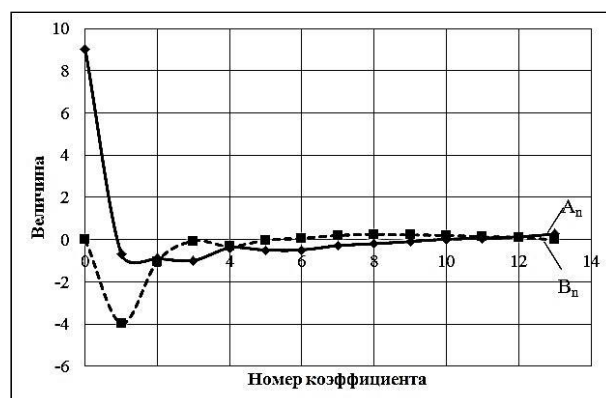


Рис 1. Коэффициенты ряда Фурье по горизонтальному сечению.

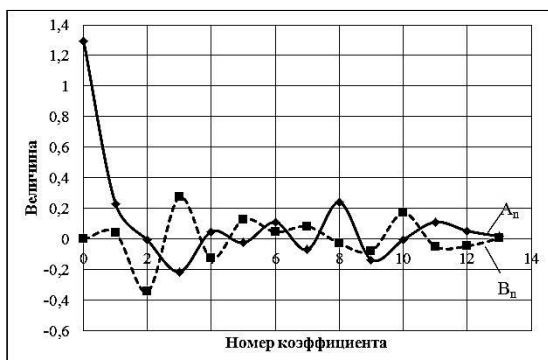
τ_{xy}



σ_x



σ_y



τ_{xy}

Рис. 2. Коэффициенты ряда Фурье по вертикальному сечению.

Для проверки данного предположения рассмотрим рисунки с графиками для остальных компонент напряжения по обоим сечениям. Из рисунков 1 и 2 видно, что коэффициенты b_8 для компонент напряжений по обоим сечениям очень близки к нулю и колебания значений как по b_k , так и по a_k начинают затухать. После a_8 и b_8 , они начинают расти, хотя и незначительно.

По горизонтальному сечению коэффициенты a_0 для σ_x и σ_y имеют отрицательные значения, тогда как по вертикальному они положительны. Остальные a_k колеблются в интервале $[-2, 2]$ постепенно приближаясь к нулю для a_7 (a_8 для σ_y по вертикальному сечению), а затем начинают незначительно расти. Коэффициенты b_k этих компонент по обоим сечениям колеблются в интервале $[-4, 1]$, принимая максимальное значение по абсолютной величине при коэффициентах b_1 . При этом, наоборот для a_0 , эти значения положительны по горизонтальному сечению и отрицательны по вертикальному.

Характерен для этих графиков и поведение коэффициентов a_1 , которые принимают наибольшие значения после коэффициентов a_0 и противоположны им по знаку, т.е. если a_0 имеет максимум по графику, то a_1 имеет минимум и наоборот. Для тангенциальных напряжений при максимальном значении a_0 минимум достигается при a_3 .

Коэффициенты a_0 для тангенциальных напряжений по обоим сечениям положительны и приблизительно равны по значениям, $a_0 \approx 1,2$ (горизонтальное сечение) и $a_0 \approx 1,25$ (вертикальное сечение). Далее коэффициенты a_k колеблются в интервале значений $[-0,5; 0,3]$, а коэффициенты b_k – $[-0,4; 0,2]$. Коэффициенты b_k достигают экстремумов при различных значениях. По горизонтальному сечению максимум при b_7 , минимум при b_9 , а по вертикальному максимум при b_3 , минимум при b_2 .

По характеру поведения коэффициенты ряда Фурье для тангенциальных напряжений резко отличаются от характера поведения для нормальных напряжений. Большие колебания значений имеются как в начале, так и в конце.

На основе вышесказанного можно заключить, для анализа экспериментальных данных, имеющее большое количество экстремумов и большую величину разности между ближайшими наибольшими и наименьшими значениями данных результативно использование гармонического анализа [1, 2]. Из анализа коэффициентов ряда Фурье,

найденным по экспериментальным данным для однородных образцов, следует, что для приближенного анализа можно усечь ряд Фурье до a_8 и b_8 , после которых значения коэффициентов по абсолютной величине начинают снова расти. Коэффициенты a_0 для тангенциальных напряжений по обоим сечениям принять равными по значениям.

Функция напряжений $F(x, y)$, в этом случае, может быть выражена через суммы тригонометрических функций аргументов x и y , следующего вида:

$$F(x, y) = S_n(x) \times C_m(y) + q(x, y) = \left[\frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^n (A_k \cos k\omega x + B_k \sin k\omega x) \right] \times \\ \times \left[\frac{\bar{A}_0}{2} + \sum_{j=1}^m (\bar{A}_j \cos j\omega y + \bar{B}_j \sin j\omega y) \right] + \frac{d_1}{2} x^2 + d_2 xy + \frac{d_3}{2} y^2$$

где $q(x, y)$ – полиномы, уточняющие выражения для компонент напряжений, найденных через функцию напряжений, $A_0, A_k, \bar{A}_0, \bar{A}_k, B_k, \bar{B}_k$ – коэффициенты одинарного ряда вида (1) и (2). Тогда выражения для определения компонент напряжений принимают простой вид

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F(x, y)}{\partial x^2} = - \left[\sum_{k=1}^n k^2 \omega^2 (A_k \cos k\omega x + B_k \sin k\omega x) \right] \times \\ \times \left[\frac{\bar{A}_0}{2} + \sum_{j=1}^m (\bar{A}_j \cos j\omega y + \bar{B}_j \sin j\omega y) \right] + d_1,$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 F(x, y)}{\partial y^2} = - \left[\frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^n (A_k \cos k\omega x + B_k \sin k\omega x) \right] \times \\ \times \left[\sum_{j=1}^m j^2 \omega^2 (\bar{A}_j \cos j\omega y + \bar{B}_j \sin j\omega y) \right] + d_3$$

$$\tau_{xy} = - \frac{\partial^2 F(x, y)}{\partial x \partial y} = - \left[\sum_{k=1}^n k \omega (B_k \cos k\omega x - A_k \sin k\omega x) \right] \times$$

$$\times \left[\sum_{j=1}^m jw(\bar{B}_j \cos jwy - \bar{A}_j \sin jwy) \right] - d_2,$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Аманалиев А.А. Математический метод расчета по экспериментальным данным напряженного состояния твердых тел с остаточными напряжениями. – Бишкек, Сб. «Современные проблемы механики сплошной среды», Вып. №13//Труды Межд. конф. «Проблемы геомеханики и освоения недр», 2011, С. 368-375.
2. Р.И. Хаимова-Малькова. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. Изд. «Наука», Москва. 1970. С.114.
3. Г.О. Казакбаева, Ж.Д. Рабидинова. Остаточные напряжения в твердых средах и регулирование их уровня при термообработке. // Известия КГТУ им. И. Раззакова, № 11. Бишкек, 2007г.
4. Бронштейн И.И., Семендяев К.Л. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов.- М., Гостехиздат, 1960.- 608 с.
5. Аманалиев А.А. Применение рядов Фурье в исследовании распределения остаточных напряжений в твердых телах//Известия НАН КР, №2, Бишкек, Илим, 2011. С. 97-100.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОТХОДОВ СУМСАР-ШЕКАФТАРСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Жакыпбекова А., Токторалиев Б.А., Кожоголов К.Ч.

ОшГУ, ЮО НАН КР, ИГиОН НАН КР

Одним из основных экологически уязвимых территорий юга Кыргызстана является Сумсар-Шекафтарский горнопромышленный район. При этом главным фактором, влияющим, на состояние окружающей среды являются отходы горнопромышленного комплекса /1/.

Сумсар-Шекафтарский горнопромышленный комплекс, являющийся, одним из больших на юге Кыргызстана, включает в себя законсервированные горные предприятия, разрабатывавшиеся Сумсарское полиметаллическое, Шекафтарское урановое, Кызыл-Жарское и ныне действующее, разрабатывающее Терексайское месторождения.

Освоение данных месторождений, включающей разведку, добычу, переработку и металлургический передел связано с выносом и складированном на земной поверхности огромного количества горных пород и шлаков. При этом большинство этих отходов горнодобывающей и горноперерабатывающей отрасли являются экотоксикантами и оказывают загрязняющее воздействие на окружающую среду. За время интенсивного освоения Сумсар-Шекафтарского горнопромышленного района накопилось огромное количество отходов, в виде хвостохранилищ и отвалов пустых пород и некондиционных руд, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Промышленное освоение Сумсар-Шекафтарского горнопромышленного района начато в конце 40-х и начале 50-х годов прошлого столетия. Разработка Сумсарского полиметаллического месторождения началось с 1951года. Сначала велась открытая разработка месторождения. Через 10 лет добычу руды стали осуществлять уже подземным способом. Через 2-3 года после начала разработки была построена обогатительная фабрика.

Хвосты от обогащения складировались в хвостохранилищах №1, №2 и № 3. Общий объем отходов обогащения полиметаллических руд составил порядка 3,65 млн. м³. Вообще, хвостохранилище – места, где собираются мелкодисперсные отходы переработки и обогащения, ко-

которые могут содержать радионуклиды, опасные для здоровья людей соединения тяжелых металлов, различные токсичные вещества, которые используются в качестве реагентов при извлечении ценных компонентов минерального сырья. К их числу относятся цианиды, кислоты, нитраты, щелочи и др. /2/.

В настоящее время хвостохранилище №1 почти полностью размыто, в результате чего в 1994 году в реку Сумсар-Сай было смыто 200 тысяч тонн токсичных «хвостов». Самое крупное хвостохранилище №2 расположено на правом берегу р.Сумсар напротив горнорудного комбината.



Рис.1 Хвостохранилище №1 в п.г.т. Сумсар.

Оно формировалось с середины 60-х до середины 70-х годов. При этом при работе очень мало внимания уделялось на дезактивацию пульпы. А воды пульпы накапливались в дренажных колодцах и канавах, которые были сделаны на хвостохранилище и в последствии возвращались на комбинат по трубам. Причем вовремя ливневых дождей и интенсивного снеготаяния производился сброс воды в р. Сумсар, загрязняя ее. В настоящее время хвостохранилище №2 продолжает интенсивно размываться и разбрасываться силой ветров (рис.1)

Хвостохранилище №3 находится на левом берегу р.Сумсар на месте отработанного рудного поля. В западной, восточной, южной и

юго-западной части хвостохранилища отсыпаны дамбы из глыбо-щебенистого материала с суглинистым заполнителем. В северной части чаша хвостохранилища частично ограничена ненарушенными породами, частично дамбами. Ширина дамбы в основании колеблется от 28 до 38 метров, а в верхней части 8-12м. Форма дамбы в основном трапецевидная, сложение плотное. В теле дамбы имеются отдельные глыбы известняка размерами более 1м в поперечном сечении, и оно отсыпано не окатанными крупнообломочными породами, глыбами и камнями. В целом, тело дамбы в настоящее время устойчиво к механическим воздействиям, к сдвигу и оползанию и разжижению и размыву основного скелета дамбы. Объем хвостохранилища составляет 1 млн.100 тыс.тонн.

Разработка уранового месторождения Шекафтар осуществлялось в период с 1945 по 1958 годы. Урановое оруденение приурочено к карбонатному горизонту Алайского яруса палеогена. На месторождении отработано шесть шахт и освоено приблизительно две трети балансовых запасов рудной зоны.



Рис.2 Хвостохранилище в п.г.т. Шекафтар.

Разведка Терексайского месторождения началась в 1934 году и том же году было открыто золоторудное месторождение Тереккан. Разведочные работы были завершены в 1976 году. В настоящее время Терекканское месторождение составляет сырьевую базу рудника

Терексай. Рудник Терексай считается в республике самым старым горным предприятием из существующих рудников. Много лет работа предприятия была направлена на добычу сурьмы и сопутствующего золота. С начала 1990-х годов основная продукция Терек-Сайского рудника является золото, добываемое с месторождения «Терек». С 2000 года по настоящее время в связи с окончанием его запасов, основной сырьевой базой рудника является месторождение «Тереккан».

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



Рис.3 Отвалы возле дороги в пгт. Терек-сай.

За длительное время наземного существования этих отвалов на территории данного горнопромышленного комплекса постоянно происходит негативное воздействие на окружающую среду. Некоторые

отвалы размещены на слабоустойчивых горных территориях и опасные геомеханические процессы (оползни, сели, землетрясения, обвалы, ливни и др.) могут разрушить эти отвалы и привести к непредсказуемым экологическим последствиям. Так, в 2000 году произошло обрушение отвалов, размещенных на крутом правобережном склоне в районе Терексайского рудника. Причиной обрушения стали большое количество осадков, выпавших 7-8 августа 2000 года, вследствие чего отвалы, расположенные над административно-жилой зоной поселка стали насыщаться водой, в результате чего произошло их обрушение. Поэтому грязекаменная масса в виде селевого потока обрушилась на участок дороги и несколько зданий. Отвалы некондиционных радиоактивных руд уранового месторождения Шекафтар размещены в пойме реки Сумсарсай и на первой надпойменной террасе непосредственно в жилой зоне. В настоящее время на территории поселка осталось 8 отвалов некондиционных руд общим объемом 113,1 тыс.м³. Причем все отвалы нерекультивированы, не ограждены; рядом с ними построены жилые дома, возделываются сады и огороды /1/.

Радиоэкологическое обследование отвалов показало /3/, что на мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на поверхности отвалов составляет от 0,1 до 0,25 мкЗв/ч, содержание урана в отвалах – от 46 до 70 г/т, селена – до 1,16г/т /3/. Породы отвалов используются местным населением в качестве строительного материала. А из горных пород отвалов, размещенных в пойме реки, происходит выщелачивание урана с выносом его далее вниз по течению реки. Часть отходов добычи урановых руд Шекафтарского рудника были размещены в отвале №5, находящемся в русле селеопасной реки Сумсар. При этом сели вызывают обрушение откосов отвала с последующим засорением и радиоактивным загрязнением реки вследствие выщелачивания урана и продуктов его распада (Сумсар-Шекафтарского горнопромышленного комплекса). Анализ геомеханического состояния отвалов

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

Таким образом, в районах размещены хвостохранилища и отвалы и оценено их геомеханическое состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Банденок Л.И., Давыдова Л.А. Экологические проблемы цветной металлургии //Цветная металлургия – 1997 - №8 – 9 – с.36-46.
2. Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. Справочник-словарь. Бишкек, 2009. – 240 с.
3. Корнилов А.М., Рябчиков С.Г. Отходы уранодобывающей промышленности. – М.; Энергоатомиздат, 1992г.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ГЛИССИРУЮЩЕЙ ПРОНИЦАЕМОЙ ПЛАСТИНКЕ

Абдылдаев М. Ю., Шамуратов К. Т., Искаков Б. О.

Рассматривается боковое растекание и протекание потока идеальной несжимаемой жидкости при взаимодействии с проницаемой глиссирующей бесконечной поверхностью. Рассматриваемая задача была решена нами, когда глиссирующая пластинка расположена, перпендикулярна к поверхности жидкости [4]. В данной работе рассматривается более общий случай, т.е. глиссирующая пластинка наклонена к поверхности жидкости под углом α_0 (α_0 – угол атаки).

Исследование обтекания жидкости через проницаемую поверхность представляет большой теоретический и практический интерес [2], однако математическое изучение возникающих задач сопряжено со значительными трудностями.

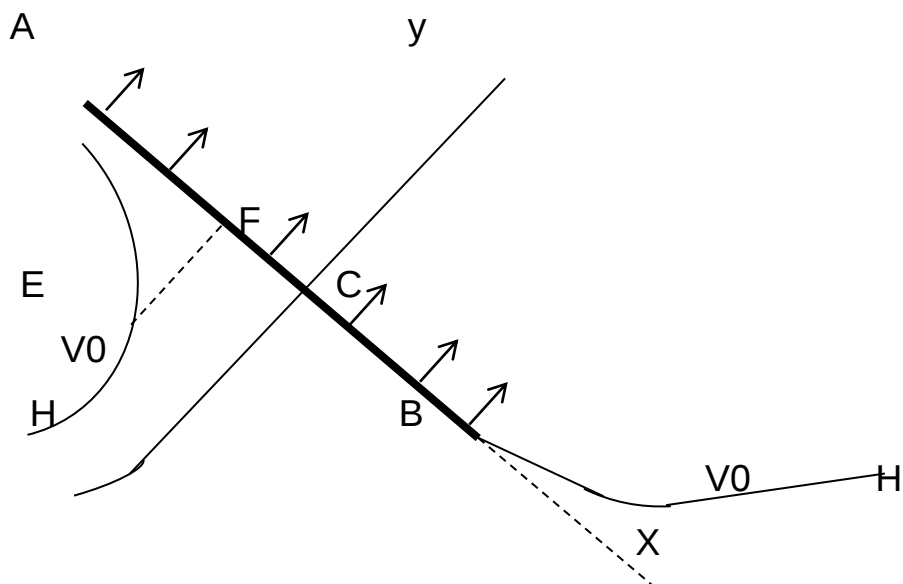


Рис.1 Картина течения в физической плоскости $z = x + iy$

Пусть поток со свободной поверхностью набегаёт на бесконечную проницаемую пластинку (Рис.1), установленную у поверхности потока. Нас будет интересовать только нахождение W и $dw/(v_0 dz)$ в параметрической форме [1]. Для решения задачи отобразим области изменения $\zeta = dw/(v_0 dz)$ на верхней полуплоскости параметрического переменного t ($Im t \geq 0$) (Рис.3). Для нахождения W (комплексный потенциал течения) используется метод особых точек С.А. Чаплыгина [1].

Встретившись с пластинкой, поток раздваивается и растекаясь перед пластинкой в поперечных направлениях и полностью или частично просачивается через него. Проницаемый контур моделируется поверхностью гидродинамического разрыва с граничными соотношениями вида [2]:

$$V(x+0) = V(x-0) \equiv V_n \quad (1)$$

$$K \cdot p V_n = P(x-0) - P(x+0) \quad (2)$$

$$U(x + 0) = 0 \quad (3)$$

Эти соотношения выражают закон сохранения массы, линейный закон протекания и свойство контура гасит касательную составляющую импульса в пересекающих его жидких частицах.

На поверхностях струи AEN и BH модуль скорости равен модулю скорости набегающего потока V_0 . Зона постоянного давления за проникаемой пластинкой простирается в бесконечность.

Рассматривается следующая схема течения. Перед пластинкой в потоке ($y < 0$) течение безвихревое. За проникаемой поверхностью ($y > 0$) находится зона завихренного течения с прямолинейными линиями тока. Предположение о прямолинейности линий тока за пластинкой эквивалентно предположению о постоянстве давления во вторичном потоке.

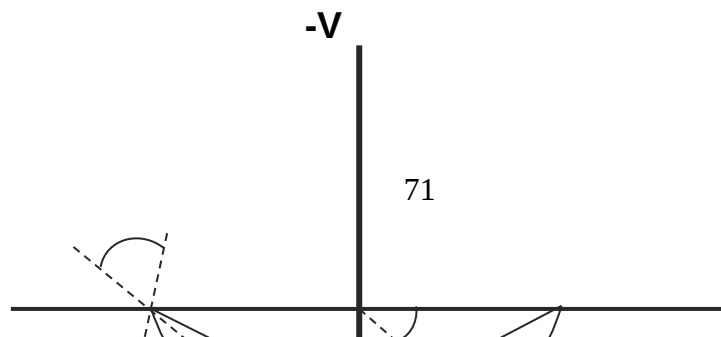
В области безвихревого движения ($y < 0$) перед контуром справедлив интеграл Бернулли $\rho(u^2 + v^2) + 2\rho = \rho u_\infty^2 + 2\rho_\infty$. Исходя из вышеизложенных условий, получаем граничное условие[2]:

$$(u^2 + v^2) + 2av = 1 \quad (4)$$

где u, v – безмерные величины, $a = k/u_\infty$ ($u_\infty = v_0$).

Пусть $z = x + iy$ – комплексная координата точки в физической плоскости,

$\zeta = dw/(v_0 dz) = u - iv$; – комплексная скорость течения. Для функции $\zeta(z)$ в области течения $HBCA$ имеют следующие краевые условия: на HC – условие непроницаемости $u = 0$ (следствие симметрии), на ACB соотношение (4) для проникаемой границы, на свободных линиях тока BH и HEA – условие постоянства давления, которое эквивалентно условию $-u^2 + v^2 = 1$.



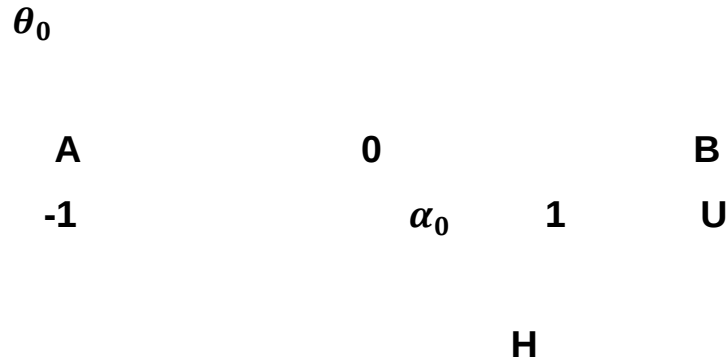


Рис.2 Область течения в плоскости годографа $\zeta = u - iv$

Построим решения в области безвихревого движения. В плоскости годографа скорости $\zeta = u - iv$ области течения соответствует круговая луночка (Рис.2). Свободные линии тока BH и AH , на которых выполняется условие $u^2 + v^2 = 1$, переходят в дугу единичной окружности, лежащую в нижней половине плоскости ζ . Соотношение (4) на проницаемой поверхности равносильно условию $(v + a)^2 + u^2 = (\sqrt{1 + a^2})^2$, поэтому линии ACB соответствует дуга окружности с центром в точке $(0; a)$ и радиусом $R = (\sqrt{1 + a^2})^2$, эта окружность проходит через точки с координатами $(\pm 1, 0)$ и пересекает ось v в точке $(0, a + \sqrt{1 + a^2})$ (Рис.2).

Введем параметрическую переменную $t = \xi + in$, такую, что в плоскости t области течения соответствует верхняя полуплоскость $\text{Im} t > 0$, а границе области течения $HBCA$ соответствует действительная ось ξ . Конформное отображение $\zeta \rightarrow t$ осуществляется с помощью нескольких последовательных конформных отображений [1,3] и она дается формулой:

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{v}{v_0} e^{-i\theta}; \zeta_1 = -\zeta; \zeta_2 = \frac{1}{\zeta_1 - 1}; \zeta_3 = \zeta_2 + \frac{1}{2}; \zeta_4 = \zeta_3 e^{i\lambda_0}; \\ \zeta_5 &= 2\zeta_4; \zeta_6 = (\zeta_5)^{\pi/\theta_0}; \zeta_6 = \frac{(1+t)}{(1-t)}; \lambda_0 = \theta_0 + \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad (4a)$$

$$\zeta(t) = - \left\{ 1 - \frac{2e^{i\lambda_0}}{e^{i\lambda_0 - \left(\frac{1+t}{1-t}\right)^{\alpha/\pi}}} \right\}; \quad (5)$$

Здесь θ_0 – угол между касательными линиями к окружностям в точке $A(B)$ (Рис.2). Легко убедиться в правильности формулы (5).

Обеспечено нужное соответствие характерных точек границы:

$$\zeta(1) = -1; \quad \zeta(-1) = 1; \quad \zeta(-h) = e^{-i\alpha_0}; \quad \zeta(0) = -ir;$$

$$(r = v_H/v_0)$$

В предельном течении, т.е., при $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$, $\lambda_0 = \pi$, имеем задачу о глассирующей непроницаемой пластинке [1]:

$$\frac{dw}{v_0 dz} = -\frac{1}{t} + i \frac{\sqrt{t^2-1}}{t}; \quad (6)$$

Найдем теперь функцию $w(t)$.

Комплексный потенциал w имеет логарифмические особенности в точках H и A , соответствующих бесконечно удаленным точкам струи. Поэтому производная dw/dt имеет полюсы в точках $t = -h$ и $t = 1$.

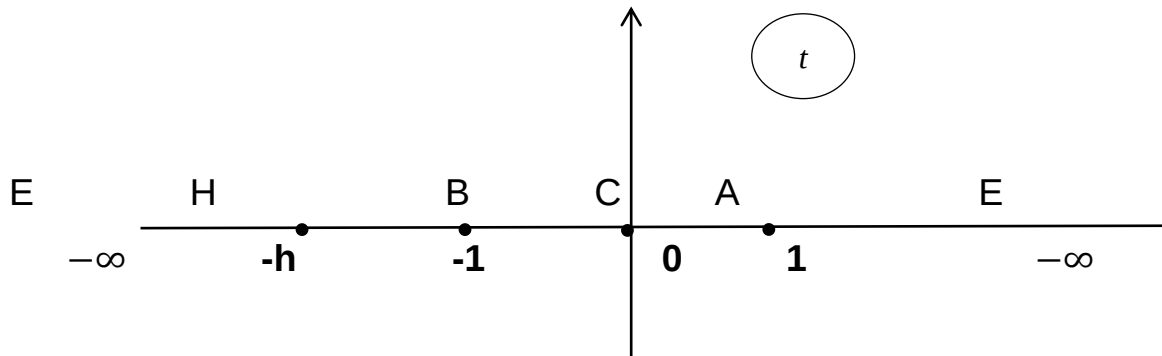


Рис. 3. Параметрическая плоскость $t = \zeta + i\eta$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{N}{(t+h)^2} + \frac{\delta v_0}{\pi} * \frac{h+1}{(1-t)(t+h)} \quad (7)$$

Так как $\frac{dw}{dt} = 0$ в точке C ($t = 0$), то из этого условия находится постоянная:

$$N = \frac{\delta v_0}{\pi} h(1+h) \quad (8)$$

Таким образом, для комплексного потенциала можно записать формулу в виде:

$$W(t) = \frac{\delta v_0}{\pi} \left[\frac{h(h+1)}{(t+h)} - \ln \left(\frac{(1-t)}{t+h} \right) \right] \quad (9)$$

Формулы (5) и (9) дают общее решение задачи в параметрической форме. Из (5) и (9) имеем:

$$dz = dx + idy = \frac{\delta}{\pi} \frac{1}{\zeta} \frac{(1+h)*t}{(t+h)^2} dt \quad (10)$$

С помощью формулы (5) можно найти направление набегающего потока в бесконечности.

Совершая обход по бесконечно малой полуокружности вокруг точки $t = -1$ (точка B) против часовой стрелки найдем, что на участке BH :

$$\frac{dw}{v_0 dz} = e^{-i\theta} = \frac{1-A^2\gamma}{1-2A\gamma\cos\lambda_0+A^2\gamma} - i \frac{1-2A\gamma\sin\lambda_0}{1-2A\gamma\cos\lambda_0+A^2\gamma} \quad (11)$$

$$\text{Здесь } \lambda_0 = \theta_0 + \frac{\pi}{2}; \quad \gamma = \frac{\theta_0}{\pi}; \quad A = \frac{(1+t)}{(1-t)};$$

Угол наклона к оси X на свободной поверхности BH равен:

$$\theta = \arctg \frac{v(t)}{u(t)} \quad (12)$$

$$\text{Где } \begin{cases} U = \frac{(t-1)^{2\gamma} - (t+1)^{2\gamma}}{(t-1)^{2\gamma} - (t+1)^{2\gamma} - 2\cos\lambda_0 * (t^2-1)^\gamma * e^{i\theta_0}} \\ V = \frac{2(1+t)^{2\gamma} * \sin\lambda_0}{(t-1)^{2\gamma} - (t+1)^{2\gamma} - 2\cos\lambda_0 * (t^2-1)^\gamma * e^{i\theta_0}} \end{cases} \quad (13)$$

В предельном случае ($\theta_0 = \frac{\pi}{2}$, $\lambda_0 = \pi$) имеем:

$$\theta = \arctg \sqrt{t^2 - 1}$$

В бесконечно удаленной точке $Ht = -h$, откуда угол наклона вектора скорости к оси X в бесконечности равен:

$$\theta_\infty = \arctg \frac{v(h)}{u(h)} \quad (14)$$

Этот угол является углом атаки α_0 пластинки:

$$\alpha_0 = \theta_\infty$$

Расчеты сопротивления подъемной силы и положения центра давления на глиссирующей пластинке будут рассмотрены в следующих работах авторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.И. Гуревич. Теория струй идеальной жидкости. Изд.:Физ-мат литературы М: 1961
2. Рахматулин Х.А., Гувернюк С.В. О постановке задач обтекания проницаемых тел несжижаемой средой // Парашюты и проницаемые тела. М: Изд-во МГУ.1987. С.5-24
3. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. Наука 1973. 606с.
4. Абдылдаев М. Ю., Шамуратов К. Т. Решение задачи о плоской проницаемой глиссирующей пластинке.
Материалы международной научно-прак. Конференции «Наука и ее роль в современном мире» Том 5. Казахстан, Караганда 2011 г.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

**БИР ТЕКТЪ – АНИЗОТРОПТУУ Ч+ЙР+Д+ГЪ СТАЦИОНАРДЫК
ЭМЕС ЪЧ +ЛЧ+МДЪЪ ФИЛЬТРАЦИЯНЫН МАСЕЛЕЛЕРИН
КАТАРЛАРДЫН ЖАРДАМЫ МЕНЕН ЧЫГАРУУ**

Бийбосунов Б.И., Уметалиев М.У., Бексултанов Ж.Т

И.Арабаев атындагы КМУ, И.Раззаков атындагы КМТУ

Бизге белгилүү болгондой, Кыргызстандын тоолуу райондорунун аймактарында, элдик чарбага жана өлкөнүн калкына маанилүү залал келтирүүчү жер көчкү, сел, уранды, кар көчкүлөрү жана башка ушулар сыяктуу, коркунучтуу экзогендик-геологиялык кубулуштар дайыма кездешип турат. Жыйынтыгында бул жаратылыш кубулуштарынын,

өзгөчө көчкү кубулуштарынын, коркунучтуулугун азайтуунун эффективдүү методдорун иштеп чыгуу илимий жана инженердик – геологиялык изилдөөлөрдүн бирден бир негизги маселелери болуп эсептелет. Бул маселелерди, алардын пайда болуусунун жана өнүгүүсүнүн сандык жана сапаттык механизмдери жетишээрлик так баяндалганда жана маани берилгенде гана чыгаруу мүмкүн болот.

Математикалык моделдөө теориясы боюнча, изилденүүчү кубулушту ар кандай кошумча берилиштери менен адекваттуу баяндап жазуучу дифференциалдык теңдемени баштапкы-четтик шарттары түрүндө табуу, формулировкаланган маселенин чыгарылышынын жалгыздыгын камсыздандыруу, негизги маселе болуп эсептелет.

Чыныгы кубулушту, анын тигил же бул божомолдоолорунда жана кабыл алууларында, аны математикалык модель менен алмаштыруу изилдөө үчүн заманбап математикалык аппараттарды жана заманбап эсептөө техникаларын колдонууга мүмкүндүк түзөт. Ошол эле учурда эске алуучу нерсе, математикалык моделдөө методдорунун өзгөчөлүгүнүн бири болуп, ар түрдүү жана ар сапаттуу маселелерди чыгаруу үчүн аларды колдонуунун потенциалдык мүмкүнчүлүктөрү эсептелет, жана жыйынтыгында белгилүү апробирленген моделдердин жаңы баяндалган маселелерин чыгаруу үчүн колдонуу.

Көчкүлөрдүн калыптануу жана өнүгүү процессинде, гидрогеологиялык, гидрологиялык шарттар жана тектердин нымдуулугу чоң мааниге жана ролго ээ. Ошондуктан, берилген факторлор бардык кеңири таралган илимий адабияттарда, көчкү жаратуучу факторлордун классификациясы, дайыма кирет. Ошол себептен, фильтрациондук факторлор гидродинамиканын көз карашы боюнча «топурак-суу» системасында же көчкү коркунучу бар беттердеги кыртыш сууларынын суу түртүүсү бар жана суу түртүүсү жок

агымдарын баяндап жазат. Фльтрациондук көчкү жаратуучу факторлорду изилдөө үчүн фильтрация теориясы колдонулат жана каралып жаткан агымдарды, баштапкы жана чектик шарттарда ар кандай тартиптеги жекече туундудагы дифференциалдык теңдемелер түрүндө баяндап жазууга болот.

Бул иште бир тектүү – анизотроптун чөйрөдөгү стационардык эмес үч өлчөмдүү фильтрациянын маселелерин катарлардын жардамы менен чыгаруу каралган. Мындай четтик маселе, биз билгендей көчкү беттериндеги фильтрациялык агымдар үчүн гана эмес, башка дагы бир тектүү жана бир тектүү эмес чөйрөлөрдөгү суюктуктун механикасынын ушул сыяктуу маселелери үчүн колдонууга болот.

Бизге белгилүү болгондой, бир тектүү – анизотроптун чөйрөдөгү стационардык эмес мейкиндиктик фильтрациянын четки маселелери экинчи тартиптеги жекече туундудагы теңдеме менен баяндап жазылат:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k_1 \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k_2 \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_3 \frac{\partial H}{\partial z} \right] = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

төмөндөгүдөй баштапкы – четки шарттарда

$$\begin{aligned} H(x, y, z, t)|_{t=0} &= H_0(x, y, z) & 0 \leq t \leq T \\ H(x, y, z, t)|_{x=N_0} &= H_{01}(t, y, z) \\ H(x, y, z, t)|_{x=N_1} &= H_{11}(t, y, z) \\ H(x, y, z, t)|_{y=N'_0} &= H_{02}(x, t, z) & (2) \\ H(x, y, z, t)|_{y=N'_1} &= H_{12}(x, t, z) \\ H(x, y, z, t)|_{z=N''_0} &= H_{03}(x, y, t) \\ H(x, y, z, t)|_{z=N''_1} &= H_{13}(x, y, t) \\ N_0 \leq x \leq N_1 & \quad N'_0 \leq y \leq N'_1 & \quad N''_0 \leq z \leq N''_1 \end{aligned}$$

мында $H(x, y, z, t)$ – изделүүчү суюктук күчүнүн функциясы, K_1, K_2, K_3 – фильтрация коэффициенттери, топурак бир тектүү – анизотроптуу деп эсептелет ($K_1 \neq K_2 \neq K_3 = \text{const}$).

(1)-(2) баштапкы маселелерди карайлы. Чыгаруу үчүн төмөндөгүдөй ыкманы колдонобуз жана суюктук күчүнүн функциясын (3) түрүндө издейбиз:

$$H(x, y, z, t) = \tau^m \cdot f(\tau), \quad \tau = \frac{t}{(x + y + z)^2} \quad (3)$$

бул жерде m – автомобильдүүлүк көрсөткүчү.

Башында убакыт боюнча туундусун жана x боюнча туундусун табабыз.3:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\tau^m}{(x + y + z)^2} \cdot \left[\frac{m}{\tau} f(\tau) + f'(\tau) \right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = - \frac{2t \cdot \tau^m}{(x + y + z)^3} \cdot \left[\frac{m}{\tau} f(\tau) + f'(\tau) \right] \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} &= m(m-1)\tau^{m-2}\tau^2 \frac{4}{(x + y + z)^2} f(\tau) + m\tau^{m-1}\tau \frac{6}{(x + y + z)^2} f(\tau) + \\ &+ m\tau^{m-1}\tau^2 \frac{4}{(x + y + z)^2} f'(\tau) + m\tau^{m-1}\tau^2 \frac{4}{(x + y + z)^2} f'(\tau) + \\ &+ \tau^m \tau \frac{6}{(x + y + z)^2} f'(\tau) + \tau^m \tau^2 \frac{4}{(x + y + z)^2} f''(\tau) \\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} &= \frac{4\tau^m}{(x + y + z)^2} \left[\tau^2 f''(\tau) + (2m + \frac{3}{2}) \cdot \tau \cdot f'(\tau) + m(m + \frac{1}{2}) f(\tau) \right] \quad (6) \end{aligned}$$

Ушул эле сыяктуу $\frac{\partial H}{\partial y}, \frac{\partial H}{\partial z}, \frac{\partial^2 H}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 H}{\partial z^2}$ табылат. (4)-(6) барабардыктарын

(1) баштапкы теңдемесине коюп жана татаал эмес өзгөртүүлөрдөн кийин төмөндөгүлөрдү алабыз

$$\begin{aligned} &\tau^2 f''(\tau) + \left[(2m + \frac{3}{2})\tau - \frac{1}{12(k_1 + k_2 + k_3)} \right] f'(\tau) + \\ &+ \left[m(m + \frac{1}{2}) - \frac{m}{\tau} \frac{1}{12(k_1 + k_2 + k_3)} \right] f(\tau) = 0 \\ &\tau^3 f''(\tau) + \left[(2m + \frac{3}{2})\tau + k \right] \cdot \tau \cdot f'(\tau) + \left[m(m + \frac{1}{2}) + mk \right] \cdot f(\tau) = 0 \quad (7) \end{aligned}$$

Мында
$$K = -\frac{1}{12(K_1 + K_2 + K_3)} \quad (8)$$

(7) теңдемесинин чыгарылышын төмөндөгү катар түрүндө издейбиз

$$f(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot \tau^{i+\alpha} \quad (8)$$

мында $a_0 \neq 0$, α – аныктамага туура келүүчү, мүнөздөөчү көрсөткүч, $a_i (i=1,2,\dots)$ – белгисиз коэффициенттер. Белгилей кетүүчү нерсе, (9), (9) катары жыйналуучу болуп эсептелет. Андан кийин биринчи жана экинчи туундуларын эсептейбиз

$$f'(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i (i + \alpha) \cdot \tau^{i+\alpha-1} \quad (10)$$

$$f''(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i (i + \alpha)(i + \alpha - 1) \cdot \tau^{i+\alpha-2} \quad (11)$$

(10)-(11) туундуларынын маанилерин (7) теңдемесине коюп,

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^{\infty} a_i (i + \alpha)(i + \alpha - 1) \tau^{i+\alpha+1} + (2m + \frac{3}{2}) \sum_{i=0}^{\infty} a_i (i + \alpha) \tau^{i+\alpha+1} + \\ & + k \sum_{i=0}^{\infty} a_i (i + \alpha) \tau^{i+\alpha} + [m(m + \frac{1}{2}) + mk] \sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot \tau^{i+\alpha} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

алабыз. Андан ары,

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^{\infty} a_i (i + \alpha)(i + \alpha - 1 + 2m + \frac{2}{3}) \tau^{i+\alpha+1} + [k\alpha + m(m + \frac{1}{2}) + mk] \cdot a_0 \tau^{\alpha} + \\ & + \sum_{i=0}^{\infty} [k(i + 1 + \alpha) + m(m + \frac{1}{2}) + mk] \cdot a_{i+1} \tau^{i+\alpha+1} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

ээ болобуз. Акыркы (13) туюнтмасынан, төмөндөгүдөй барабардыктар орун алсын дейли

$$a_0 \neq 0, \quad a_0 \neq 1, \quad k \cdot \alpha + m(m + \frac{1}{2}) + mk = 0 \quad (14)$$

Анда α параметри үчүн аныктоочу барабардыкты алабыз

$$\alpha = -\frac{m(m + k + \frac{1}{2})}{k} \quad (15)$$

(15) барабардыгы, (8) барабардыгы менен аныкталган, К фильтрация коэффициентин жана m автомоделдүүлүк көрсөткүчү менен байланышкан, α – мүнөздөөчү көрсөткүчтү аныктоо үчүн мүмкүнчүлүк берет. (14) – (15) формулаларын эске алып, (13) барабардыгынан,

$$(i + \alpha + 2m + \frac{1}{2})(i + \alpha) \cdot a_i + [k(i + \alpha + 1) + m(m + \frac{1}{2}) + km] \cdot a_{i+1} = 0 \quad (16)$$

алабыз.

Акыркы барабардыкты өзгөртүп түзгөндөн кийин,

$$a_{i+1} = - \frac{(i + \alpha)(i + \alpha + 2m + \frac{1}{2})}{k(i + \alpha + m + 1) + m(m + \frac{1}{2})} \cdot a_i \quad (17)$$

туюнтмасын алабыз. Демек, биз ((49) берилген катарынын коэффициенттерин аныктоо үчүн рекурренттик формуланы алдык. Анда, (7) теңдемесинин чыгарылышын төмөндөгүдөй түрдө элестетүүгө болот:

$$f(\tau) = A \cdot \tau^{-\frac{m(m+k+\frac{1}{2})}{k}} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} a'_i \cdot \tau^i \quad (18)$$

мында a'_i – (17) рекурренттик формуласынан аныкталат, A – бул каалагандай турактуу. (18) табылган маанилерин (2) формуласына коюп жана жыйынтыгында,

$$H(x, y, z, t) = \left[\frac{(x + y + z)^2}{t} \right]^{\frac{m(m+\frac{1}{2})}{k}} \cdot A \cdot \sum_{i=0}^{\infty} a'_i \left[\frac{t}{(x + y + z)^2} \right]^i \quad (19)$$

формуласын алабыз. Акыркы (19) туюнтмасы биздин (1) стационардуу эмес үч өлчөмдүү теңдемесинин чыгарылышын билдирет. Мында a'_i – (16) формуласына ылайык (17) рекурренттик формуласынан аныкталат, m – автомодельдүүлүк көрсөткүчү, A – (2) маселесинин чектик шарттарына ылайык аныкталуучу каалагандай турактуу. Демек, (1)–(2) түрүндөгү фильтрациянын стационардуу эмес үч өлчөмдүү баштапкы – четки ма-

селелеринин жакындаштырылган аналитикалык чыгарылыштары алынган. Алар сандык чыгарылыштарды текшерүү жана салыштыруу үчүн негиз болуп эсептелет.

АДАБИЯТТАР

1. Полубаринова – Кочиа Н.Я. Теория движения грунтовых вод. М. Наука, 1977г.
2. Бийбосунов Б.И., Уметалиев М.У. аналитические и приближенно-аналитические методы фильтрации и инфильтрации жидкости в различных средах. Бишкек. Илим.1998г.
3. Абуталиев Ф.Б. и др. Методы математического моделирования гидродинамических процессов. М. Недра. 1972г.
4. Тихонов А.М., Самарский А.А. Уравнения математической физики М. Наука. 1972г.
5. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М. Наука. 1976г.

О ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССАХ НА ТЕРРИТОРИИ СУМСАР-ШЕКАФТАРСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Жакыпбекова А., Токторалиев Б.А., Кожогулов К. Ч.

Ош ГУ, ЮО НАН КР., ИГиОН НАН КР

Геомеханические процессы в породных массивах можно разделить на 2 класса: опасные и неопасные. К опасным природным процессам относятся процессы вызывающие, разрушение того или иного объекта (оползни, различные обрушения, разрушение дамб, хвостохранилищ и отвалов). К неопасным процессам можно отнести процессы деформирования и перераспределения напряжений, не влияющие на устойчивость объектов.

В горнопромышленных районах негативное действие опасных природных процессов на окружающую среду многократно усиливается. В этих районах образуются зоны обрушения, сдвижений земной поверхности, повышается трещиноватость горных пород, которые приводят к образованию оползней, разрушаются отвалы и прилегающие к горным предприятиям промышленные, социальные и гражданские объекты, загрязняются грунтовые и поверхностные воды, изменяется состояние атмосферы и т.д. /1/. Эти воздействия в основном имеют необратимый характер и происходят во всех сферах природной

среды: атмосфере, литосфере, растительном и животном мире и др. И конечно, эти изменения негативно действуют и на здоровье человека.

В данной работе, рассмотрено проявление опасных природных процессов в одном из наиболее экологически уязвимом Сумсар-Шекафтарском горнопромышленном комплексе юга Кыргызстана.

В работе /2/ выделены три степени оползневой опасности, которые ранжированы по интенсивности развития исследуемых экзогенных процессов. К первой степени оползневой опасности относятся районы: с площадями массового развития оползней, активизирующихся во влажные сезоны года, площадями с высоким развитием оползней, активизирующихся во влажные сезоны года. Ко второй степени оползневой опасности относятся районы со средним количеством оползней, активизирующихся во влажные сезоны года. К третьей степени оползневой опасности относятся территории с развитием малого количества оползней, активизирующихся в аномально влажные годы, потенциально оползнеопасные зоны, а также территории развития склоновых экзогенных процессов и явлений (камнепады, обвалы, оползни и др.).

К опасным природным процессам, развивающимся на горных склонах, относятся /1,3/ и обвально-осыпные обрушение масс грубо-обломочных отложений (обвалы), падение и скатывание отдельных обломков горных пород со склонов (камнепады), скатывание обломков горных пород по поверхности склонов (осыпи). При этом эти процессы могут происходить одновременно на одних участках. Причем обвально-осыпные процессы развиваются преимущественно на скальных и полускальных породах в горных областях и угрожают в основном автомобильным и железным дорогам, линиям электропередач и связи, базам отдыха, отдельным хозяйственным объектам, горнорудным предприятиям, жилым домам в отдельных населенных пунктах. А крупные обвалы способны перекрывать русла водостоков, создавая

завальные и запрудные озера. Активизация обвально-осыпных процессов происходят под действием обильных осадков и землетрясений. В большинстве случаев камнепады и обвалы возникают в весенне-летний период после интенсивного снеготаяния и выпадения ливневых осадков. Часто причиной обвально-осыпных процессов является подрезка склонов при строительстве различных геотехнических объектов. На карте-схеме типологического инженерно-геологического районирования оползневой опасности, выполненных в МЧС КР /2/ на территории Чаткальского района, к которому и относится Сумсар-Шекафтарский горнопромышленный комплекс, к I категории уязвимости с первой степенью риска относятся юго-восточные склоны Чандалашского и отроги Пскемского и Чаткальского хребтов, а также район населенного пункта Шекафтар. В пределах этой категории выделены: участки с первой степенью риска 11,3км²(0,2% территории района), участок со 2 степенью риска занимающий около 3% территории района, участки с третьей степенью риска (около 3% территории района). Участки II категории уязвимости отмечены по низко- и среднегорным территориям долин рек Чаткал, Чандалаш. В пределах этой категории выделяются зоны с первой степенью риска, занимающие около 11% и второй степенью риска, занимающие 0,6% территории района. Около 79 % территории района, приуроченной к хребтам, окаймляющим Чаткальскую, Чандалашскую долины относится к III категории уязвимости первой степени риска с угрозой от экзогенных склоновых процессов и явлений, в том числе камнепадов, обвалов, осыпей и оползней.

Первые проявления опасных оползневых процессов на территории рудника Шекафтар были отмечены в ноябре 1961года. Оползень был расположен на восточной окраине одноименного поселка в нижней части левобережного террасированного склона долины р.Сумсарсай в известняках палеогена. Он имеет вытянутую в меридиональном направлении форму. Длина оползневого тела по оси движе-

ния равна 270м, ширина 530м. Общая площадь, занятая оползнем, в среднем равна 75-80 тыс. м³, а общий объем составляет порядка 500-600 тыс. м³ при средней мощности оползневого тела 7м. Базисом оползня является первая надпойменная терраса р. Сумсарсай, с угрозой разрушения жилых домов (рис.1). При этом небольшие деформации произошли в его периферийной части вдоль карстово-суффозионных оврагов, ограничивающих оползень с двух сторон. Скорость смещения составляла 10 см/сутки. Произошло разрушение цементированного канала («старого»). При этом образовались трещины раскрытия 1,2 - 1,5м глубиной до 50 м, которые разделяли блоки размером 2х3м.

В период с 1963 – 1964 гг. на оползне происходило увеличение ширины раскрытия трещин в результате действия поверхностных вод, атмосферных осадков и процессов выветривания. Измеренная глубина в некоторых трещинах достигла уровня III надпойменной террасы (около 15м). Потом развитие оползня замедлилось и в течение последних 30 лет заметных деформаций склона не наблюдалось и только начиная с 1996 года он снова активизировался. Сначала шли небольшие подвижки, оживились ранее имеющиеся трещины, увеличиваясь в ширину и в длину, также образовались новые. Основное движение оползня началось утром 16 июля 1997 года, замедлилось к концу дня и прекратилось рано утром 17 июля 1997 года.



Рис. 1. Оползень в пгт. Шекафтар

К основному движению оползня предшествовал обильный полив огородных и садовых участков, расположенных на уровне III террасы. И наконец, участок канала на южном конце оползня, находящийся в металлическом лотке был разрушен, а вода из него целиком уходила в массы. Таким образом, основными причинами оползня Шекафтар 1 является техногенная деятельность, которая вызвала утечку воды из канала, а также из водонапорного сооружения питьевого водоснабжения, размещенного на этом же склоне, создало ослабленную водонасыщенную зону, по которому и произошло оползание пород склона.

В таблице 1 приводятся участки возможной активизации оползней, имеющих место на территории Каныш-Кыянского и Чаткальского айльных округов Сумсарской п/у, которые являются опасными для жилых домов и автодорог. Прогноз возможной активизации оползней на различных участках /2/.

Таблица 1

№	Айльный округ	Населенный пункт	Возможные объекты разрушений
1	Каныш-Кыя	с. Айгыр-Жал уч. Кара-Суу	дома
2	Каныш-Кыя	уч. Кара-Суу	с.Айгыр-Жал, Кара-Суу автодорога
3	Сумсар	с.Шекафтар	дома

4	Сумсар	уч. Шарапкана	дома, водопровод
5	Чаткал	уч. Жерконуро	дома
6	Чаткал	уч. Кызыл-Бел	Ала-Бука, Каныш-Кыя автодорога, 105км

В таблице 2 приводятся зоны возможной активизации камнепадов /2/, которые имеют место на территории Терексайского п/у, где в зоне риска проходят автодороги Каныш-Кыя - Ала-Бука и Ала-Буа - Терек-Сай.

Прогноз возможной активизации камнепадов со склонов /2/.

№	Аильный округ	Объект в зоне поражения	Рекомендуемые защитные мероприятия
1	Терек-Сайская п/у	автодорога Ала-Бука – Каныш-Кыя, 25км	превентивные методы защиты наиболее опасных участков
2	Терек-Сайская п/у	автодорога Ала-Бука – Каныш-Кыя, 33км	превентивные методы защиты наиболее опасных участков
3	Терек-Сайская п/у п.г.т. Терек-Сай	жилой дом	Отселить семью
4	Чаткальский	автодорога Ала-Бука – Каныш-Кыя, 100км	превентивные методы защиты наиболее опасных участков

Таким образом, опасные природные процессы на территории Сумсар-Шекафтарского горнопромышленного комплекса могут вызвать ряд негативных воздействий на окружающую среду района.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошоев М.К. Опасные природные явления Кыргызстана. – Бишкек: Илим, 1996.
2. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской республики (Изд.8-е с изм. и доп.) Б., МЧС, 2011 – 718с.

3. Геоэкологическая безопасность и риск природно-техногенных катастроф на территории Кыргызстана. // Сост. И.А.Торгоев, Ю.Г.Алешин, Б.Б.Молдобаева. – Бишкек: Жэка лтд., 1999г.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СВЧ ВОЛН НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Акматалиева М. С.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Наиболее сильное воздействие на электрические и магнитные свойства горных пород оказывает температура. Изменяя температуру породы, можно изменить ее электрические, магнитные свойства до определенной величины. При электротермическом разрушении пород небольшая часть массива породы или негабарита нагревается в среднем до высокой температуры, разогретый участок породы расширяется, и в нем появляются механические напряжения, которое в не-

которых точках превышают пределы прочности породы и она разрушается. Поскольку разрушение породы в этом случае происходит от растягивающих напряжений, то затраты энергии на разрушение невелики. Эффективность такого разрушения определяется совокупностью механических, тепловых и электрических свойств породы, являющихся в данном случае функцией температуры.

Для разупрочнения породы обычно используются термомеханические напряжения, получающиеся при местном нагревании породы, а также вследствие различия физических свойств минералов, составляющих данную породу. Для исследования влияния СВЧ волн на механические свойства горных пород и их структурное состояние нами предварительно было исследовано акустические и деформационные свойства горных пород в исходном состоянии, и после воздействия СВЧ волнами.

При воздействии на образцы СВЧ волн происходят неоднозначные изменения деформационных и акустических свойств. Например, в некоторых горных породах скорости прохождения продольной волны после воздействия СВЧ волнами уменьшается, а скорости поперечной волны увеличивается, и поэтому происходит уменьшение модуля упругости и увеличение коэффициента Пуассона после воздействия СВЧ волн.

В работе приведены результаты исследования изменения структурного состояния горных пород после воздействия на образцы пород мощных полей сверхвысоких частот. Особое внимание было уделено к изменению структурного состояния, а именно остаточных напряжений. При этом для анализа остаточных напряжений были рассмотрены изменения ультразвукового показателя остаточного напряжения - разность времени прохождения поляризованных взаимно перпендикулярных поперечных волн, так как нами было установлено, что указанная разность отражает величину и знак остаточных напряжений /1,2/.

В качестве объекта изучения были взяты цилиндрические образцы разных по механическим свойствам горных пород: гранит (Кара – Кол, 25 км, юг), известняк (карьер Даана, Лейлекский район), диорит (Жети - Огуз). Для облучения использовалась СВЧ печь. Длительность облучения изменялось от 1 мин. до 9 мин. через каждые 2 мин. Как известно, микроволны СВЧ облучения представляют собой форму энергии, аналогичную электромагнитным волнам, используемым в радио и телевизионном вещании и обычному дневному свету. Цилиндрические образцы горной породы с диаметром 36 и продольным размером 72 мм помещались вовнутрь печи и облучались СВЧ импульсами. Обычно электромагнитные волны распространяются наружу через атмосферу и исчезают в пространстве без следа. Однако в микроволновых печах имеется магнетрон, который сконструирован таким образом, чтобы можно было использовать энергию, содержащуюся в микроволнах. 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. Нами использован уровень мощности – 700 Вт. Частота микроволн – 2450 МГц. Цилиндрические образцы горной породы с диаметром 36 и продольным размером 72 мм помещались вовнутрь печи и облучались СВЧ - импульсами. Результаты исследований приведены на рисунках 1 – 6.

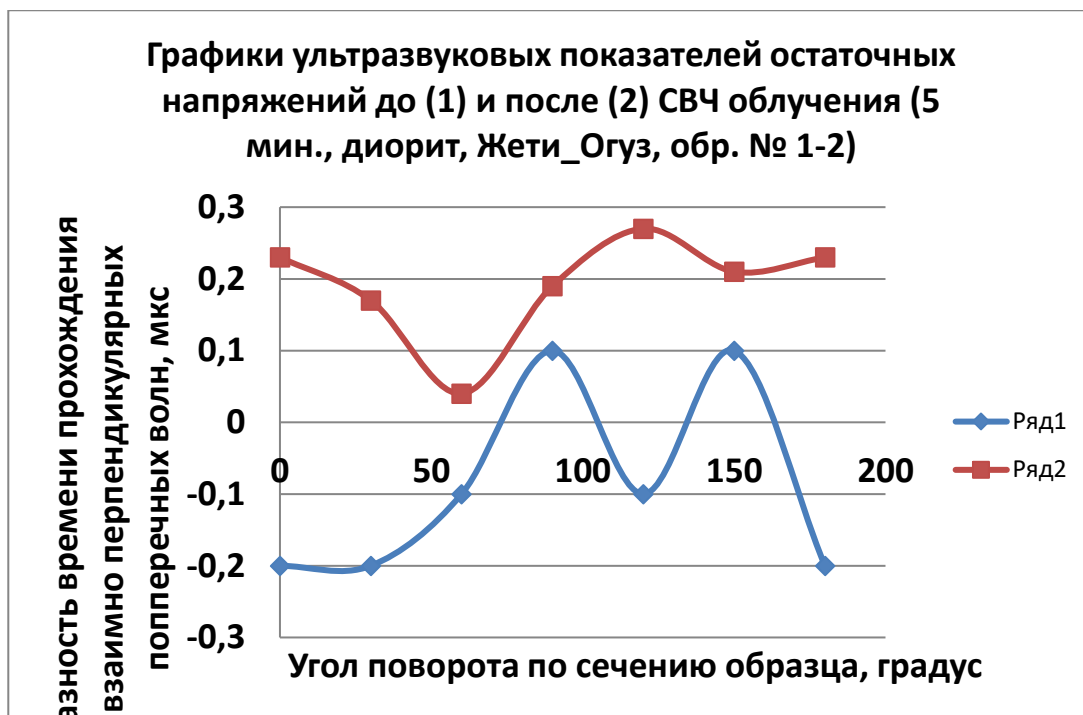


Рис. 1

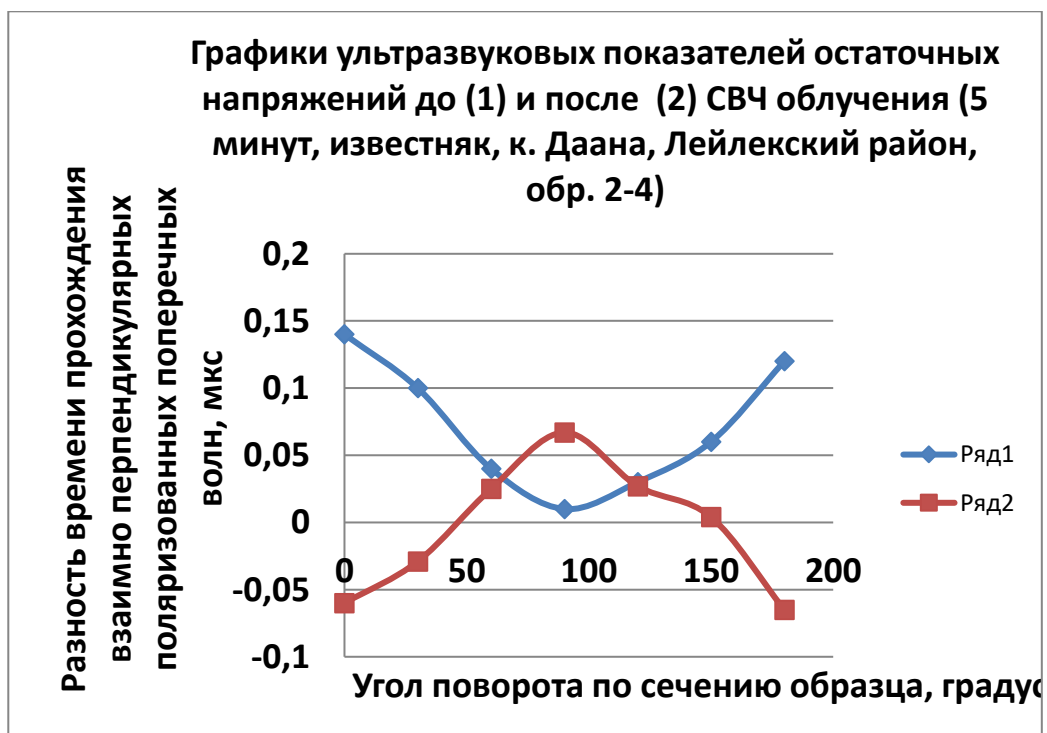


Рис. 2

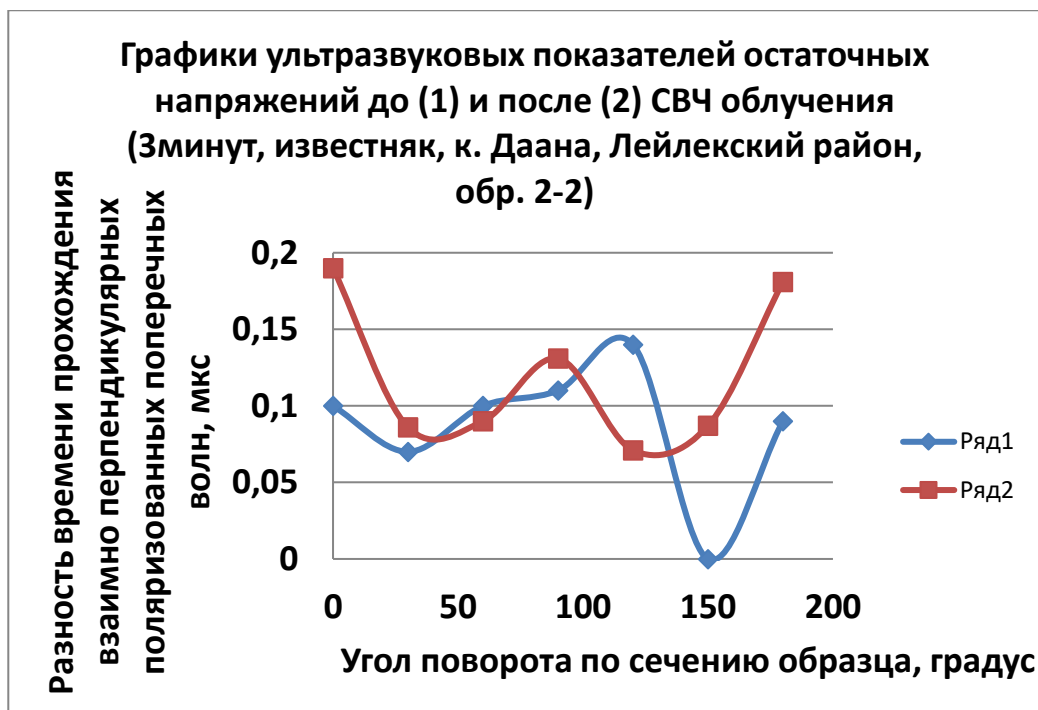


Рис. 3

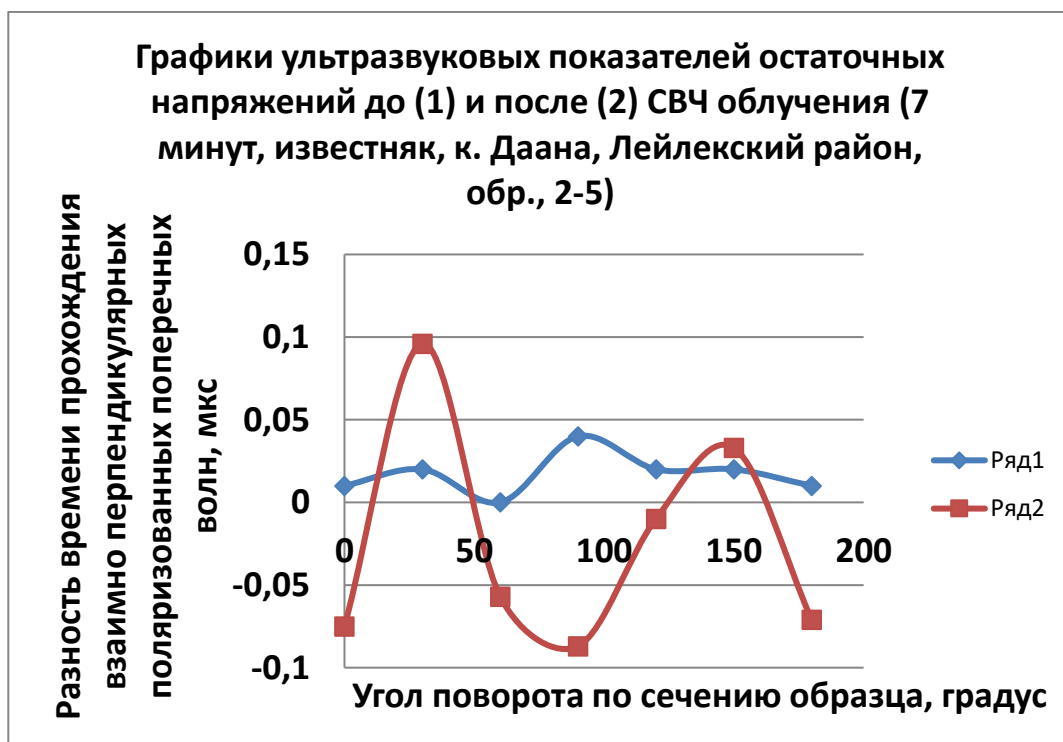


Рис. 4

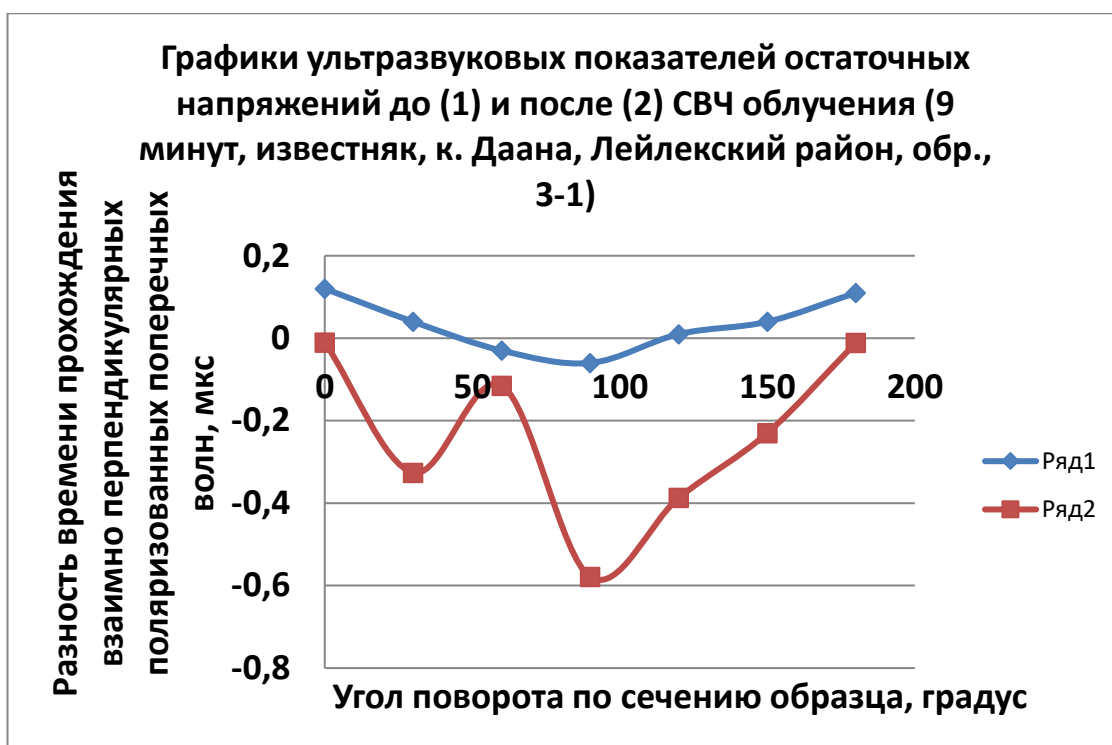


Рис. 5

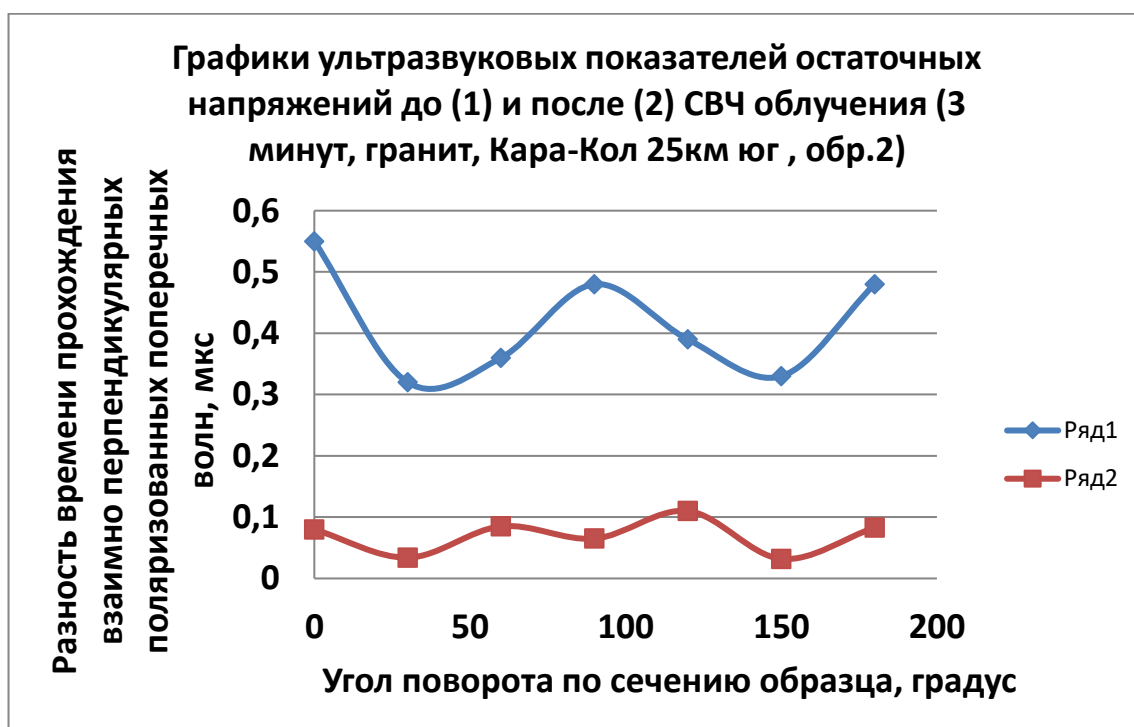


Рис. 6

Из рисунков видно, что от продолжительности воздействия СВЧ волн существенно зависит внутреннее структурное состояние горной породы. При продолжительности СВЧ воздействия 3-5 мин. происходит максимальное снижение ультразвукового параметра остаточных напряжений (рис.1 и 6), то есть при этом происходит снятие остаточных напряжений, обуславливая снижение прочности. При дальнейшем увеличении продолжительности времени воздействия СВЧ волн до 7 и 9 мин. формируются сжимающие остаточные напряжения (рис. 4 и 5), которое способствуют повышению прочности по сравнению с исходным состоянием.

Выводы:

1. Воздействие СВЧ волн приводит к формированию значительных термомеханических напряжений в минералах пород, а также к формированию и изменению остаточных напряжений, что в свою очередь может обуславливать изменение прочностных характеристик.
2. Установлено, что при продолжительности СВЧ воздействия 3-5 мин. происходит максимальное снижение ультразвукового показателя остаточного напряжения - разность времени прохождения поляризованных взаимно перпендикулярных поперечных волн, то есть при этом происходит снятие остаточных напряжений, обуславливая снижение прочности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тажибаев К.Т., Акматалиева М.С., Тажибаев Д.К. Оценка остаточных напряжений ультразвуковым методом. // Сб. Наука, техника, технология. Материалы первой международной конференции ИА КР. – Бишкек: 2007. с. 10-15.

2. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Неразрушающий метод определения остаточных и действующих напряжений твердых материалов. В сб./ Труды международной конференции «Проблемы геомеханики и освоения недр» /Современные проблемы механики сплошных сред. Выпуск тринадцатый. «Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии». Г. Бишкек. 2011 г. – с.164-175.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

**ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА
ПОКАЗАТЕЛИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ИЗВЕСТНЯКОВ-РАКУШЕЧНИКОВ «САРЫ-ТАШ»**

Кожогулов К.Ч., Калдыбаев Н.А., Султанов И.К.

ИГиОН НАН КР., ОшТУ

В Кыргызской республике имеются обширные запасы природного облицовочного камня, являющегося ценным строительным сырьем. Утвержденные ГКЗ геологические запасы природного камня превышают 150 млн м³. В настоящее время идет интенсивная разработка

крупнейшего месторождения известняков-ракушечника «Сары-Таш», расположенного в Узгенском районе Ошской области.

На данном месторождении проектный выход блоков по верхнему слою составляет 62,2%. При фактическом изучении состояния эксплуатации месторождения нами выявлено, что средний выход готовых блоков природного камня на некоторых участках карьера составляет от 30 до 40 % (в частности, на юго-западном и восточном фланге, где наблюдается интенсивная трещиноватость). Анализ показывает, что камнедобывающие предприятия при осуществлении добычи не в достаточной степени учитывают одну из основных геомеханических факторов - естественную трещиноватость массива, вследствие чего участки камнедобывающих предприятий завалены отходами.

В результате массовых замеров элементов залегания и частоты встречаемости трещин по обнаженной поверхности месторождения установлено, что слой № 1 разбит исключительно трещинами двух систем: меридиональной и широтной с вертикальным или почти вертикальным (85°) падением.

Эти трещины разбивают массив на природные моноблоки, имеющих в основном прямоугольную форму в виде параллелепипеда. Трещины, распространенные на северном фланге месторождения имеют более меньшие размеры, чем в центральной части (верхняя площадь моноблоков не более 1,8 x 2, 2 м).

Площадь месторождения по интенсивности проявления природной трещиноватости в породах слоя № 1 можно разделить на 5 групп (табл. 2.2).

Таблица 2.2

№ групп	Минимальн. и максимальное расстояния между тре-	Минимальн. и максимал. расстояния между	Миним. и макс. площадь поверхности возможных природных мо-	Средняя мощность слоя	Минимальн. и максимальн. объемы воз-можных при-
---------	---	---	--	-----------------------	---

	щинами меридио- нальной сис-ы, м	трещинами широтной системы, м	ноблоков, м ²	№ 1	родных бло- ков, м ³
A	1	2	3	4	5
I	1.0-2.2	1.0-2.2	1.0-3.0	1,6	1,6-4,8
II	1.4-2.5	1.6-3.3	св.3,0 до 5,0	1,6	св. 4,8 до 8,0
III	1.5-5.0	1.6-5.0	св. 5,0 до 10,0	1,6	св.8,0до 16,0
IV	2.5-6.7	2.5-6.6	св. 10,0 до 30,0	1,6	св.16,0до 48,0
V	3.2-10.0	3.3-20.0	св. 30,0 до 150,0	1,6	св.48,0 до 240,0

I группу составляют площади с максимальной интенсивностью трещиноватости, занимающие небольшие пятна в центральной части месторождения (всего 0,005 км²), с возможным выходом непассированных природных моноблоков второй и третьей групп по ГОСТ 9479-76.

Площади II группы по интенсивности проявления трещиноватости развиты также в центральной части месторождения (0,02 км²). По ним возможен выход непассированных моноблоков первой группы по ГОСТ 9479-76. Удельный объем площадей I и II групп к общей обнаженной части площади месторождения - 0,70 км² составляет всего 3,6%. Примерно в равных соотношениях находятся площади III и IV групп, по которым выход непассированных моноблоков может составить объем от 8 до 48 м³. Общая площадь, занимаемая данными группами, составляет 0,65 км² (93,5% обнаженной части площади месторождения).

Площади V группы с прогнозным выходом непассированных блоков объемом 48-240 м³ распространены на восточной и западной ча-

сти месторождения, а удельный объем этих площадей к площади месторождения, где проводились массовые замеры трещин, определяется 2,9% (0,02 км²).

В распределении площадей различной интенсивности проявления трещиноватости наблюдается определенная закономерность: наибольшая трещиноватость развита в центральной части месторождения, подвергавшейся длительное время эрозионным процессам и, наоборот, на участках позже освободившихся из-под перекрывающей толщи, трещиноватость проявлена менее интенсивно, последнее подтверждается на примере карьеров, где производилась внешняя вскрыша (участок, эксплуатируемый АО «Ош-Акташ»).

По результатам предыдущих работ нами составлены научно-технические рекомендации по учету и правильному использованию закономерностей естественной трещиноватости массива при добыче известняков-ракушечников на месторождении Сары-Таш и переданы членам ассоциации «Карынбай», объединяющей камнедобывающие предприятия – «Атауул», «Мир ТВ», Сман-007» и «Мурат Л.Т.Д.».

На показатели разработки месторождений природного камня также влияет его напряженное состояние, связанное с генезисом месторождения, глубиной залегания, нагрузками при разделке на блоки, температурой. Результаты многочисленных экспериментальных исследований напряженного состояния нетронутого массива горных пород и их обобщение [1] показывают, что в горноскладчатых регионах, к которым относится и территория Кыргызской республики, выделены следующие характерные особенности распределения напряжений в верхней части земной коры:

- существенная неоднородность естественного поля напряжений;
 - превышение величины горизонтальных напряжений над вертикальными
- зависимость распределения величин напряжений в массиве от прочностных и деформационных свойств горных пород;

- рост величин горизонтальных напряжений с увеличением глубины;
- прямолинейность зависимости изменения горизонтальных напряжений с глубиной.

В настоящее время большинство исследователей в массиве горных пород выделяют два поля напряжений: геостатическое и геодинамическое. Геостатическое поле обусловлено действием веса налегающих пород, а геодинамическое – тектоническими силами. Условиям геостатического поля напряжений содействуют в основном результаты измерения напряжений, выполненных в осадочных породах. Геодинамическое поле напряжений свойственно для крепких скальных пород и характеризуется резко повышенными значениями горизонтальных (а иногда и вертикальных) напряжений сжатия.

В общем случае, горизонтальные напряжения, превышающие вертикальные, на территории СНГ инструментально измерены на рудниках Кольского полуострова, Урала, Казахстана, Центральной Азии. Эта особенность общего поля напряжений наблюдается на территории Скандинавии, Канады, США и других тектонически активных районах земли [2].

В массиве месторождений природного камня напряжения обычно связаны с гидростатическим давлением столба породы и их боковым распором. Однако изменение температуры породы в ее приповерхностном слое приводит к возникновению термических напряжений. В свою очередь, с генезисом месторождения также связаны тектонические напряжения, не зависящие, как правило, от глубины залегания добываемого объема камня. Наряду с этим, напряжения в массиве также предопределены сцеплением пород. Все это в конечном итоге и определяет общее напряженно-деформированное состояние массива природного камня.

Разработка месторождений полезных ископаемых связана с проведением в массивах горных пород различного рода выработок, которые нарушают в массиве первоначальное поле напряжений. Восстановление равновесия породного массива приводит к деформациям выработок и созданию в массиве дополнительных полей напряжений, суммирование которых с локальными полями напряжений, вызванных воздействием горных работ на породу, изменяет естественное напряженное состояние массива горных пород и приводит к росту их значений вблизи горных выработок. Исследования показывают, что [5, 6] снизить уровень конечных напряжений в породных массивах, а, следовательно, увеличить выход камня из него можно за счет рационального управления технологией добычи блоков (изменения интенсивности горных работ). При этом исследованиями на карьере Сары-Таш, установлено, что наименьшее приращение напряжений происходит при добыче блоков с более низкой скоростью подвигания забоев, расположенных вблизи нерабочего борта карьера.

Таким образом, при оценке коэффициента выхода блоков необходимо учитывать интенсивность и специфику технологического процесса добычи блоков, а также начальный уровень напряжений обрабатываемого массива.

На основе изучения литературных источников [3-5] и опираясь на собственные наблюдения, проведенные в течение 2007-2012 гг. на месторождении Сары-Таш можно сделать следующие выводы:

1. При разработке полезных ископаемых в результате внешнего воздействия разрушающих нагрузок на массивы горных пород происходит изменение качества исходного сырья и образование отходов. Основными факторами, вызывающими эти изменения, являются геологические, технические, организационные и экономические. К геологическим, т.е. природным факторам относятся такие характеристики как генезис, минеральный состав, структурные и текстурные признаки

пород, слагающих массивы облицовочного камня, характер и степень состояния пород в массиве - степень трещиноватости, выветрелости, обводненности, специфика проявления естественных напряжений.

2. Процесс добычи облицовочного камня должен включать комплекс исследований по геометризации месторождения, установлению закономерностей в изменчивости горно-геологических условий, определению характеристик формы и строения элементарных блоков, а также структуры горного массива.

3. Учет трещиноватости и правильное использование закономерностей распределения трещин при добыче позволяет на 20-30 % повысить выход кондиционных блоков.

4. Существует взаимосвязь между интенсивностью добычных работ и уровнем напряжений в камне, а следовательно и коэффициентом выхода продукции. Увеличение скорости добычных работ в некоторых случаях вызывает снижение коэффициента выхода блоков в 1,3-1,4 раза. Увеличение времени между стадиями добычи блоков природного камня за счет релаксации в камне напряжений обеспечивает снижение энергии разрушения и улучшение качества поверхности раскола.

5. Увеличение скорости подвигания фронта работ в условиях, сходных с месторождением Сары-Таш с 1 до 6 м в месяц сопровождается снижением коэффициента выхода блоков в 1,3-1,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айтматов И.Т. О распределении естественных напряжений в породных массивах верхней части земной коры. В кн. Горная наука в Кыргызстане в XX веке. Бишкек, Илим, 2000г. с. 126-151.

2. Кропоткин Н.П. Тектонические напряжения в земной коре по данным непосредственных измерений. // Напряженное состояние земной коры. – М: Наука, 1973 – с. 21-31.
3. Алимов О.Д., Мамасаидов М.Т. Модели технологического процесса отделения блоков природного камня от массива. – Фрунзе: Илим, 1988. – 84 с.
4. Мендекеев Р.А. Состояние и перспектива развития камнедобывающей промышленности Кыргызстана. Бишкек «Илим», – 2006. – 180 с.
5. Калдыбаев Н.А. Султаналиев А., Самиева М. Результаты исследования естественной трещиноватости трещиноватости массива на месторождении известняков-ракушечников Сары-Таш. / Известия вузов, №5, Бишкек, 2009. стр. 15-19.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

СИММЕТРИЧНОЕ ОБТЕКАНИЕ ПРОНИЦАЕМОГО КЛИНА СТРУЕЙ ВЫТЕКАЮЩЕЙ ИЗ КАНАЛА

Абдылдаев М.Ю., Шамуратов К.Т., Искаков Б.О

1. Рассматривается симметричное струйное обтекание проницаемого клина с углом раствора 2α потокам жидкости, вытекающей из канала, ограниченного плоскими стенками (рис. 1).

Поток ограничен параллельными стенками оси X , расстояние между стенками равно $2h$. Набегающий поток имеет в бесконечности ско-

рость $V_\infty = V_H$. Скорость насвободой поверхности равна V_0 . Ввиду симметрии течения нам достаточно будет исследовать верхнюю половину течения, заменив оси симметрии X твердой стенкой.

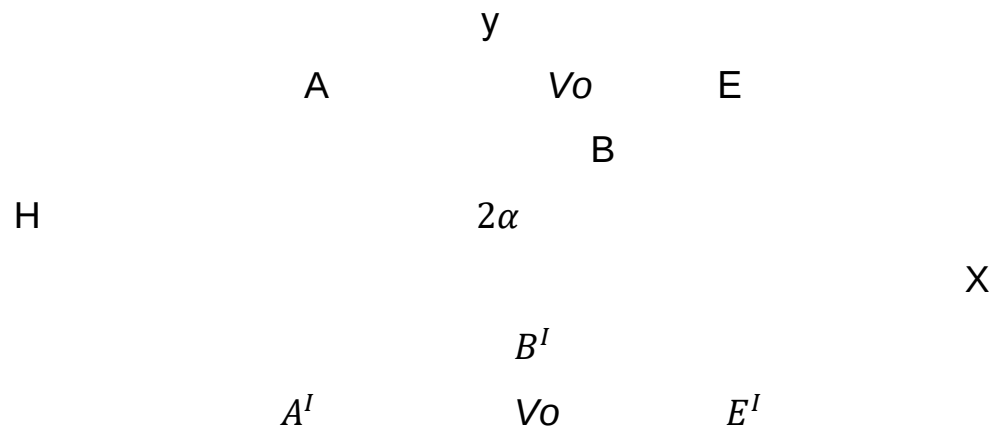


Рис.1.Картина течения в физической плоскости $z = x+iy$.

2. Примем следующую схему течения. Перед клином в потоке ($X < 0$) течение безвихревое. За проницаемой поверхностью ($X > 0$) находится зона завихревого течения с прямолинейными линиями тока. Предположение о прямолинейности линий тока за контуром эквивалентно предположению о постоянстве давления во вторичном потоке. В области безвихревого движения $X < 0$ перед контуром справедлив интеграл Бернулли

$$\rho(U + V^2) + 2P = \rho V_0^2 + 2P_0 \quad (2.1)$$

используя, линейный закон протекания, а так же закон сохранения массы и постоянстве давления во вторичном потоке, получим граничное условие [2;3]

$$U^2 + V^2 + 2\alpha_0 U = 1, \quad (2.2)$$

позволяющее находить потенциальное течение перед контуром независимо от обтекания в целом. (U и V -безразмерные величины, $\alpha_0 = K/V_0$)

3. В плоскости годографа скорости $zZ = U - iV$ области СВЕАН, соответствует половина круговой луночки (рис.2). Свободные линии тока ВЕ и АЕ, на которых выполняется условие $U^2 + V^2 = 1$, переходят в дугу единичной окружности, лежащую в четвертой четверти. Соотношение (2.2) на проницаемой поверхности равносильно условию

$$(U + \alpha_0)^2 + V^2 = (\sqrt{1 + \alpha_0^2})^2, \quad (3.1),$$

поэтому линия СВ соответствует дуга окружности с центром в точке $(-\alpha, 0)$ и радиусом $\sqrt{1 + \alpha_0^2}$, эта окружность пересекает ось U в точке $(\sqrt{1 + \alpha_0^2} - \alpha, 0)$.

Линия НА соответствует стенкам канала, а НС соответствует луч НС действительной оси X (рис.2).

Введем параметрическую переменную $t = \xi + i\eta$, такую, что в плоскости t области течения соответствует верхняя полуплоскость $\text{Im}(t) > 0$, а границе области течения НСВЕА соответствует действительная ось ξ (рис.3).

Найдем конформное отображение $zZ = \frac{dw}{V_0 dz}$ на t с помощью нескольких последовательных конформных отображений.

$$zZ(t) = -e^{-i\alpha} \frac{1 + Z_3}{1 - zZ}; \quad Z_3 = Z_{31} + i \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha};$$

$$zZ_3 = z_2 e^{-i\lambda_0}; \quad Z_{34} = \ln \frac{z_3}{|z_{3c}|}; \quad Z_{34} = \ln \left\{ \frac{1+t}{1-t} \right\}^{\lambda/1}$$

$\lambda_0 = \pi + \theta_0$; $\lambda_1 = \frac{\pi}{2} + \theta_0$; θ_0 – угол между касательными линиями к окружностям в точке В. (рис.2).

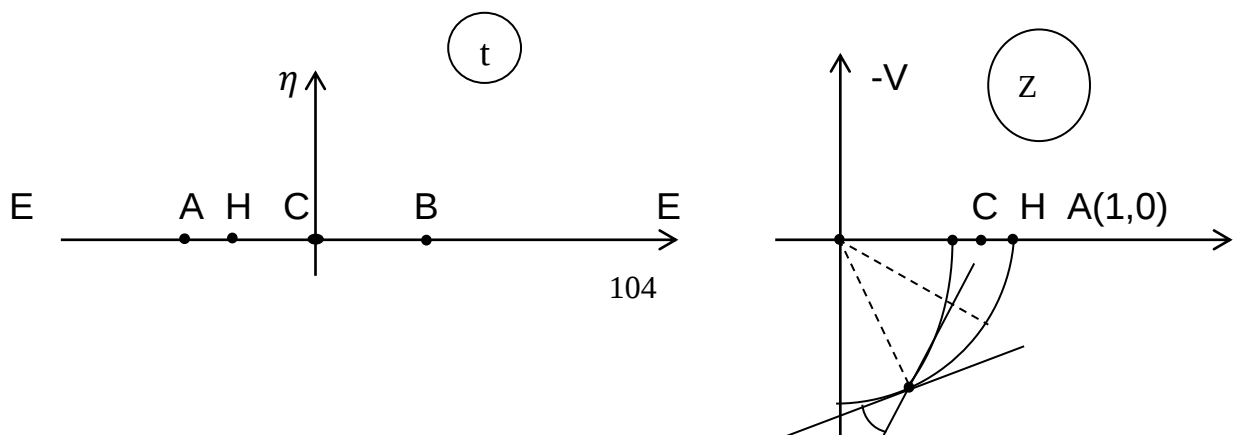




Рис.3. Параметрическая плоскость $t = \xi + i\eta$.
 iV .

Рис.2. Область течения в плоскости годографа $zZ = U -$

Отображение $zZ(t)$ дает формула

$$zZ(t) = -e^{-i\alpha} \frac{1 - \cos \alpha - i \sin \alpha + e^{-i\lambda_0} n \left\{ \frac{1+t}{1-t} \right\}^{\lambda_1/\pi}}{1 - \cos \alpha + i \sin \alpha - e^{-i\lambda_0} n \left\{ \frac{1+t}{1-t} \right\}^{\lambda_1/\pi}} \quad (3.2)$$

$$n = |Z_{33C}| = |Z_{33E}|.$$

$$zZ_{3E} = i \left(\frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} - \frac{\sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta}{1 - \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta} \right) \quad (3.3)$$

Формулу (3.2) нетрудно проверить непосредственно. В самом деле, определенная с помощью (3.2) функция $z(t)$ всюду в верхней полуплоскости t ($\text{Im} t \geq 0$) аналитична. Следовательно, остается только проверить выполнения граничных условия или, что одно и тоже соответствие (3.2) с рис. 2 и 3. В формуле (3.2) обеспечено нужное соответствие характерных точек границы.

$$zZ(1) = e^{-i\alpha}; \quad zZ(-1) = 1$$

На линии АВ имеем также $|zZ(t)| = 1$, $(-\infty < \xi \leq -1, 1 \leq \xi < +\infty)$.

Далее, на действительной оси $-1 < \xi < 0$ и $0 < \xi < 1$.

Функция $zZ(t)$ принимает действительные положительные значения. Обходя в верхней полуплоскости t точку С ($t=0$) против часовой стрелки по бесконечно малой полуокружности, убеждаемся, что аргу-

мент $Z_3(t)$ на ВС ($0 < t \leq 1$) равен $\alpha = \pi\eta$, т.е. граничные условия всюду выполняются.

4. Далее, будем находить $z=z(t)$.

Сначала, найдем вспомогательную функцию [3] так называемую функцию Х.А. Рахматулина:

$$\Omega(t) = \ln \frac{dz}{dt} = a + ib. \quad (4.1)$$

Найдем $b(t)$ при $t = \xi$, на действительной оси. При этом имеем:

$$-\infty < \xi < -1, \quad b(\xi) = \beta + \Lambda_1(\xi),$$

$$-1 < \xi < -h, \quad b(\xi) = \pi,$$

$$-h < \xi < 0, \quad b(\xi) = 0,$$

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

$$1 < \xi < +\infty, \quad b(\xi) = \beta + \Lambda_2(\xi).$$

$$\Lambda_i(\xi) = \operatorname{arctg} \frac{V(\xi, 0)}{U(\xi, 0)}, \quad (i = 1, 2)$$

Для упрощения расчета сделаем дополнительное дробно-линейное преобразование верхней полуплоскости t на себя

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

Обозначая $\gamma = \operatorname{Re}(W)$, перейдем к модифицированным функциям

$$\Omega_I(W) \text{ и } \Lambda_i(\gamma) (i = 1, 2).$$

$$\Omega_I(W) = \Omega[t(W)], \quad \Lambda_i(\gamma) = K_i \Lambda_i\left(\frac{\gamma}{2(1 - \gamma)}\right) \quad (4.2)$$

В итоге получаем следующую вспомогательную краевую задачу для отыскания в верхней полуплоскости W аналитической функции $\Omega_I(W)$

по значению ее мнимой части на действительной оси γ :

$$-\infty < \gamma < 0, \quad \operatorname{Im}(\Omega_I) = 0,$$

$$0 < \gamma < \frac{2}{3}, \quad \operatorname{Im}(\Omega_I) = a,$$

$$\begin{aligned}\frac{2}{3} < \gamma < 1, & \quad \mathcal{I}m(\Omega_I) = \beta + K_I * \Lambda_I(\gamma), \\ 1 < \gamma < 2, & \quad \mathcal{I}m(\Omega_I) = (-\pi + \beta) + K_2 * \Lambda_I(\gamma), \\ 2 < \gamma < h_I, & \quad \mathcal{I}m(\Omega_I) = \pi, \\ h_I < \gamma < +\infty, & \quad \mathcal{I}m(\Omega_I) = 0.\end{aligned}$$

Следовательно, эту функцию можно восстановить, по интегральной формуле Шварца [4]:

$$\Omega_I(W) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\mathcal{I}m \Omega_I(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma + C. \quad (4.3)$$

(C-произвольная действительная постоянная).

$$\begin{aligned}\text{После вычисления, имеем } \Omega_I(W) = \ln \left\{ \frac{W - \frac{2}{3}}{W} \right\}^{\alpha/\pi} \left\{ \frac{2-W}{\frac{2}{3}-W} \right\}^{\frac{\beta}{\pi}} \left\{ \frac{1-W}{2-W} * \right. \\ \left. \frac{h_I - W}{2-W} \right\} + \frac{\beta}{\pi} \left\{ \int_{\frac{2}{3}}^I \frac{\Lambda_I(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma + \int_1^2 \frac{\Lambda_2(\gamma)}{\gamma - W} d\gamma \right\} + C. \quad (4.4) \\ \left(h_I = \frac{2h}{2h-1} \right).\end{aligned}$$

Используя (3.2)-(4.1), находим искомую функцию Z(t) в виде:

$$\begin{aligned}ZZ(t) = \\ = C_0 \int_0^t \left\{ \frac{\tau-1}{\tau} \right\}^{\frac{\alpha}{\pi}} \left\{ \frac{\tau+1}{1-\tau} \right\}^{\frac{\beta}{\pi}} \left\{ \frac{h_I(1+2\tau) - 2\tau}{4(1-\tau)^2} \right\} \exp \left[\frac{\beta}{\pi} \left(\int_{\frac{2}{3}}^I \frac{\Lambda_1(\gamma)}{\gamma - \frac{2\tau}{2\tau+1}} d\gamma \right. \right. \\ \left. \left. + \int_1^2 \frac{\Lambda_2(\gamma)}{\gamma - \frac{2\tau}{2\tau+1}} d\gamma \right) \right] d\tau \quad (4.5)\end{aligned}$$

$$\text{где } \Lambda_1(\gamma) = \Lambda_2(\gamma) = \beta \operatorname{arctg} \frac{v(\gamma; 0)}{u(\gamma, 0)}. \quad (4.6)$$

Формулы (3.2). (4.5) дают параметрическое решение задачи о набега-нии плоской струи идеальной несжимаемой жидкости, вытекающей из канала, на симметричную плоскую проницаемую поверхность.

5. С помощью формулы (3.2) и (4.5) можно вычислить геометрические, кинематические и другие элементы задачи.

Если обозначить расстояние между стенками канала $2L$ и скорость в бесконечности в точке Н $V_\infty = V_H$, то имеем

$$2L = \frac{2q}{V_0 \zeta(-h)}, \zeta(-h) = \frac{V_\infty}{V_0} = \left(\frac{dW}{V_0 dZ} \right)_H, \text{ т.е. параметр } h \text{ определяет скорость}$$

в сосуде на бесконечности.

С помощью (4.5) можно найти и длину щеки ℓ т. е.

$$\ell = C_0 e^{-ia} \int_0^1 f(\tau) d\tau. \quad (5.1)$$

где $f(\tau)$ – под интегральное выражение (4.5).

Отношение ℓ/L , а также угол раствора клина $2\alpha(2\pi\kappa)$ являются геометрическими элементами. При числовых расчётах удобнее задавать математические параметры α, β и h и определить ℓ/L , где β угол который струя образуется с осью X в бесконечности (рис.1). Отношение ℓ/L исключает постоянная C_0 в формуле (4.5). Далее, можно найти и сопротивление клина X , или что равносильно коэффициент сопротивления клина

$$C_x = \frac{X}{\rho \ell \sin \alpha * V_\infty^2}. \quad (5.2)$$

$$\text{где } X = \rho L V_H^2 \left(\frac{V_0^2}{V_H^2} - 2 \frac{V_0}{V_H} \cos \alpha + 1 \right) \quad (5.3)$$

(X – сопротивление клина в задаче об обтекании клина потоком конечной ширины [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахматулин Х.А., Гувернюк С.В. О постановке задач обтекания проницаемых тел несжимаемой средой. // Парашюты и проницаемые тела. М.:Изд-во МГУ, 1987.С.5-24.
2. П.Р. Андронов, С.В. Гувернюк. Решения задачи о плоской струе, натекающей на бесконечный проницаемый экран // Проблемы современной механики. М.: Из-во МГУ, 1998.
3. Бучин В.А. Решение задачи об обтекании проницаемой пластинки с отрывом струей // Докл. АН СССР. 1983. Т. 269. №6.
4. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. Изд. 4-е. М.: Наука. 1973. 606с
5. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. Гос. Изд-во физико-матем. литературы. М.: 1961.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

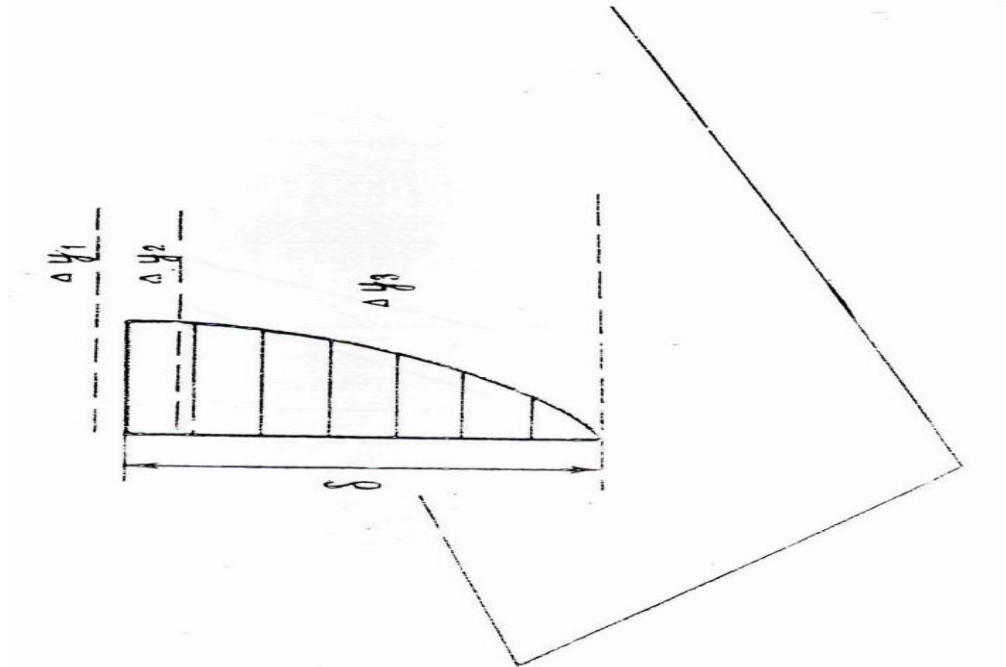
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА ПРИ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ**

Бийбосунов А.И.

КГНУ им. Ж. Баласагына

При асимптотическом анализе будем использовать обозначения для различных областей возмущенного течения: область I – возмущенная часть внешнего невязкого течения, ее характерная толщина.

$$\Delta y_1 > \delta \sim O(\varepsilon)$$



Область II – основная часть пограничного слоя с характерной толщиной:

$$\Delta y_2 \sim \delta$$

Вязкая пристеночная область III с характерной толщиной:

$$\Delta y_3 < \delta$$

При построении асимптотической теории вихрей Гертлера в пограничном слое жидкости будем предполагать, что потеря устойчивости основного плоского течения вблизи вогнутой поверхности вызывает нелинейные возмущения функций течения в области их локализации, например:

$$\Delta u \sim u$$

Следовательно, возмущения от вихрей уже в первом приближении влияют на характеристики основного плоского течения вблизи вогнутой поверхности. В поле центробежных сил тогда возникают возмущения давления:

$$\Delta P \sim k u^2 \Delta y$$

которые индуцируют поперечные составляющие скорости:

$$w \sim \Delta w \sim \Delta P^{1/2} \sim k^{1/2} u \Delta y^{1/2}$$

Так как оценки для P и w получаются из сопоставления порядков величин конвективных членов уравнений, то, очевидно, механизмы конвекции являются основными в процессе порождения вторичного вихревого течения.

Пусть возмущения зарождаются в области с характерной толщиной в виде:

$$\Delta y \sim O(a) < \delta \sim O(\varepsilon),$$

то есть толщиной меньшей, чем толщина пограничного слоя, расположенного непосредственно около вогнутой поверхности, где завихренность основного плоского течения вблизи вогнутой поверхности является наибольшей, а функции течения изменяются пропорционально расстоянию от поверхности, например:

$$u \sim \Delta y / \varepsilon$$

Тогда справедливы следующие оценки для функций течения:

$$\begin{aligned} u &\sim O(a/\varepsilon) \\ \Delta P &\sim O(\varkappa a^3 \varepsilon^2) \\ w &\sim O(\varkappa^{1/2} a^{3/2} / \varepsilon) \end{aligned} \quad (1)$$

Принимая, что в общем случае толщина возмущенной области «а» соизмерима с ее шириной - $\Delta z \sim O(c) \sim O(a)$, и приравнивая порядки величин членов уравнения неразрывности, можно получить, что:

$$a \sim c \sim O(\varkappa b^2) \quad (2)$$

где «а», «b» и «с» - характерные толщина, протяженность и ширина пространственной возмущенной вихревой области течения, и:

$$\varepsilon^2 < a < c < b < 1$$

Соотношения (1) и (2) позволяют оценить порядки величин конвективных и основных диссипативных членов уравнений движения:

$$u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \sim O(\varkappa^2 b^3 \varepsilon), \quad \varepsilon^2 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \sim O(\varepsilon \varkappa b^2) \quad (3)$$

Из оценок (3) видно, что в наименее вырожденном случае, когда механизмы конвекции и диссипации равнозначны и:

$$u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \sim \varepsilon^2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

протяженность возмущенной области « b » по порядку величины равна:

$$b \sim O(\varepsilon^{3/5} / \varkappa^{3/5}) < 1 \quad (4)$$

Оценки (1), (2) и (3) позволяют для возмущенной вихревой области течения III с характерными размерами:

$$\Delta x \sim O(b) \sim O(\varepsilon / \varkappa)^{3/5}$$

$$\Delta y \sim \Delta z \sim O(a) \sim O(c) \sim O(\varepsilon^{6/5} / \varkappa^{1/5})$$

расположенной непосредственно около вогнутой поверхности, ввести следующие переменные и асимптотические разложения функций течения:

$$\begin{aligned} x &= (\varepsilon^{3/5} / \varkappa^{3/5}) X_3, \\ y &= (\varepsilon^{6/5} / \varkappa^{1/5}) Y_3, \\ z &= (\varepsilon^{6/5} / \varkappa^{1/5}) Z_3, \\ u &= (\varepsilon^{1/5} / \varkappa^{1/5}) u_3 + \dots, \\ v &= \varkappa^{1/5} \varepsilon^{4/5} v_3 + \dots, \\ w &= \varkappa^{1/5} \varepsilon^{4/5} w_3 + \dots, \\ \Delta P &= \varkappa^{2/5} \varepsilon^{8/5} P_3 + \dots \end{aligned} \quad (5)$$

где возмущение давления P отсчитывается от значения на вогнутой поверхности в точке зарождения неустойчивости основного плоского течения вблизи вогнутой поверхности.

Теперь подставим разложения (5) в систему уравнений Навье - Стокса и совершим предельный переход при $\varepsilon \rightarrow 0$, $\varepsilon < \varkappa < 1$. Тогда получим, что в первом приближении для области III справедливы параболизированные в продольном направлении уравнения Навье - Стокса без продольного градиента давления:

$$\frac{\partial U_3}{\partial X_3} + \frac{\partial \vartheta_3}{\partial Y_3} + \frac{\partial w_3}{\partial Z_3} = 0$$

$$U_3 \frac{\partial U_3}{\partial X_3} + \mathcal{G}_3 \frac{\partial U_3}{\partial Y_3} + w_3 \frac{\partial U_3}{\partial Z_3} = \frac{\partial^2 U_3}{\partial Y^2_3} + \frac{\partial^2 U_3}{\partial Z^2_3} \quad (6)$$

$$U_3 \frac{\partial \mathcal{G}_3}{\partial X_3} + \mathcal{G}_3 \frac{\partial \mathcal{G}_3}{\partial Y_3} + w_3 \frac{\partial \mathcal{G}_3}{\partial Z_3} + KU^2_3 + \frac{\partial \rho_3}{\partial Y_3} = \frac{\partial^2 \mathcal{G}_3}{\partial Y^2_3} + \frac{\partial^2 \mathcal{G}_3}{\partial Z^2_3}$$

$$U_3 \frac{\partial w_3}{\partial X_3} + \mathcal{G}_3 \frac{\partial w_3}{\partial Y_3} + w_3 \frac{\partial w_3}{\partial Z_3} + \frac{\partial \rho_3}{\partial Z_3} = \frac{\partial^2 w_3}{\partial Y^2_3} + \frac{\partial^2 w_3}{\partial Z^2_3}$$

На вогнутой поверхности должны выполняться обычные условия прилипания и непротекания:

$$U_3 = \mathcal{G}_3 = w_3 = 0, Y_3 = 0 \quad (7)$$

Внешние и начальные краевые условия получаются из сращивания с решением для пристеночной части основного плоского течения вблизи вогнутой поверхности (с нижней сдвиговой частью пограничного слоя около вогнутой поверхности):

$$U_3 \rightarrow AY_3, \rho_3 \rightarrow -KA^2Y^3_3 \quad (8)$$

$$\mathcal{G}_3, w_3 \rightarrow 0, X_3, Y_3 \rightarrow \infty$$

где «А» - напряжение трения в продольном направлении на вогнутой поверхности в точке зарождения неустойчивости основного плоского течения вблизи вогнутой поверхности.

Предполагается исследовать периодические по поперечной координате «Z» - решения, поэтому:

$$f(X_3, Y_3, Z_3) = f(X_3, Y_3, Z_3 + \lambda) \quad (9)$$

$$f = U_3, \mathcal{G}_3, w_3, \rho_3$$

где λ - длина волны вытянутых в продольном направлении стационарных вихрей Гертлера.

Краевая задача (6) – (9) описывает эволюционное нелинейное развитие вихрей Гертлера с длиной волны меньшей толщины погранич-

ного слоя около вогнутой поверхности. Из характеристик основного плоского течения вблизи вогнутой поверхности в краевую задачу входит только величина «А». Так как протяженность исследуемой области течения мала (как видно из (4)), то здесь несущественно продольное изменение функций течения в основном плоском течении вблизи вогнутой поверхности, которое происходит на характерной длине $X \sim O(1)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике. Москва, изд-во Мир, 1967 г.
2. El – Hady N.M., Verma A.K. Instability of compressibly layers along curved walls with suction or cooling. AIAA paper, 1982, №82.
3. Peerhossaini H. On the subject of Gortler vortices. Lecture notes in Physics, 1984, ed. S. Zaleski, pp. 376 – 384.
4. Бийбосунов А.И. Гидродинамическая неустойчивость течения в поле центробежных сил. Материалы международной конференции «Проблемы механики и технологий», г. Бишкек, 1994г.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КЫРГЫЗСТАНА НА БЛИЖАЙШУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

Камчыбеков Д.К.

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 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 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.

Основными причинами спада объема добычи угля в республике за 1994-2012 годы послужили:

- наличие в составе отрасли многих нерентабельных шахт и разрезов со сложными горно-технологическими условиями;
- отсутствие в период распада Союза единой государственной программы по поддержанию топливно-энергетического комплекса республики и стабильной прямой поддержки угольной отрасли. Например, неправильная ориентация энергетиков в 1990-е годы на использование импортных

углей, непродуманный взятый курс повсеместного перехода на электропотребление по всей республике, привели к потере угольщиками внутреннего рынка;

–ухудшение финансового состояния отрасли из-за неплатежеспособности потребителей;

–разбалансирования возвратного финансового механизма;

–появление на угольных предприятиях промышленного«рекета»;

– исчерпали свой проектный ресурс работы более половины горно-транспортного и шахтного оборудования, износ фондов превышает 80%.

Функции по управлению угольной промышленностью были сосредоточены в Министерстве внешней торговли и промышленности Кыргызской Республики, АООТ «Корпорация Кыргызкомур», а затем переданы ГП «Комур».

При этом численность трудящихся угледобывающей отрасли в Кыргызской Республике уменьшилась с 15923 человека в 1991 году до 4080 человек по состоянию на 01.01.2010 г.

По состоянию на 01.01.2013 г. угольная отрасль Кыргызской Республики объединяет 120 угледобывающих компаний.

Постановлением Правительства Кыргызской Республики от 13 августа 1998 года № 544 «О Программе развития угольной отрасли на период до 2005 года», Постановлением Правительства КР от 28 января 2002 года №43 «О мерах по выполнению решения Совета безопасности КР», от 31 октября 2001 года №6 «О состоянии и мерах по дальнейшему развитию топливно-энергетического комплекса страны», Постановления Правительства КР от 13 декабря 1999 года №688 «О дополнительных мерах по поддержке угольной промышленности Кыргызской Республики», «Программа развития угольной промышленности КР на период 2006-2010 гг., утвержденная Постановлением коллегии Государственного агентства по геологии и минеральным ресурсам при Правительстве КР (протокол №3 от 16 февраля 2006 г.) и другими

нормативными документами введен новый механизм управления средствами государственной поддержки, регламентирующий порядок выделения, перечисления, использования и контроля бюджетных средств, совершенствование топливно-энергетического баланса, снижение энергетической зависимости от импорта топливно-энергетических ресурсов, оставление в распоряжение средства от отчислений на развития и воспроизводство минерально-сырьевой базы на предприятиях «Кыргызко-мур», освобождение предприятий угольной промышленности от отчислений в Фонд по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и налога за пользование автомобильными дорогами, а также перечень мероприятий по реструктуризации угольной промышленности, финансируемые за счёт средств из бюджета.

Несмотря на принятые меры, финансовое состояние большинства предприятий угольной отрасли оставалось достаточно сложным. Не были исполнены мероприятия, указанные в принятых выше правительственных документах.

Благодаря осуществлению серьезных структурных преобразований в отрасли, начатых в 1995-1996 гг. за счет оптимизации объемов добычи угля на жизнеспособных предприятиях, акционированию шахт

и



разрезов, выделению финансовой помощи в 1997-1998 гг. удалось прекратить спад производства в угольной промышленности (рис.1).

Рис.1. Динамика добычи угля в Кыргызстане

Согласно энергетической концепции, начиная с марта 1998 г., происходит поэтапное повышение тарифов на электроэнергию. Вследствие этого добываемый уголь будет вполне конкурентоспособным как источник электроэнергии, вырабатываемой на тепловых станциях.

Поэтому в целях покрытия потребности в угле намечается увеличение добычи угля до 1,0 млн.т в 2015 г. на Кара-Кечинском угольном месторождении, а также строительство новой шахты «Бешбурхан», горизонта +1050м. на шахте «Жыргалаң» доведения добычи угля до 100 тыс.т.

Необходимо обновление и техническое переоснащение наиболее перспективных угольных предприятий, которые придадут существенный рост объемов добычи. Намеченный по регионам ввод крупных цементных и других заводов, тепловых станций потребует разработку угольных месторождений в больших масштабах.

В 2006 году Правительство КР решило построить ТЭС на угольном месторождении Кара-Кече. Строительство ТЭС обеспечила бы не только надежность работы энергетической системы, но и сделала бы отрасль привлекательной для инвесторов.

Предлагаем ввести на ближайшие 10-15 лет производственные мощности по добыче угля подземным и открытым способом по пяти месторождениям угля на 2100 тыс.т в год. На строительство новых шахт и реконструкцию старых предварительно потребуется 1778,8 млн. сомов, или 43,6 млн. долларов США. Эти финансовые средства могут привлекаться за счет инвестиций и распределяться по годам в течение ближайших 5 лет, что угледобыча будет сохранена, но на новых условиях. Поэтому главными задачами являются: стабильное наращивание уровня добычи угля с модернизацией действующих угледобывающих предприятия с перспективой строительства новых шахт и разрезов с привлечением

крупных международных инвестиций со стороны государства в виде льготных ссуд и предоставление кредита, а также внедрение новых технологий в добычу и переработку угля, что позволит довести объем добычи до 3,5-4,0 млн.т в год а это в свою очередь обеспечит полностью Кыргызскую Республику твердым топливом.

С учётом реально сложившейся ситуации к настоящему времени, а также и в зависимости от степени реализации мер по оказанию государственной поддержки предприятиям угольной отрасли объёмы угледобычи в перспективе могут развиваться по двум вариантам - без оказания поддержки со стороны государства и с учётом ее оказания.

По первому варианту произойдет снижение угледобычи до 900 тыс. в 2012 году и 450 тыс.т в 2015 году. Снижение добычи угля произойдет по причинам полного износа горно-шахтного оборудования, отработки подготовленных запасов угля, невозможности подготовки новых блоков к очистной выемке из-за отсутствия средств на обновление горно-шахтного оборудования и приобретения материалов. По мере выбытия производственных мощностей отдельных предприятий и достижения 100% износа активной части основных фондов без своевременного их обновления некоторые предприятия прекратят своё существование в современном виде. Взамен их возможно создание малых предприятий по добыче небольших объёмов угля и попутных полезных ископаемых (особенно на открытых разработках).

Исходя из вышеизложенного, по согласованию с угледобывающими предприятиями нами был разработан второй вариант программы развития угольной отрасли на период 2010-2015 года. Объем добычи по этому варианту в 2015 году должен был возрасти до 1,6 млн.т, то есть увеличиться более чем в 3,9 раза.

Второй вариант предусматривает определённую государственную финансовую поддержку угольной отрасли. Складывающаяся обстановка по обеспечению народного хозяйства энергоресурсами в последние годы

и в перспективе предопределяет необходимость резкого увеличения добычи угля в республике с постепенным отказом от импорта угля и снижения потребления газа.

Стратегическими целями развития угольной промышленности в рассматриваемой перспективе является надежное обеспечение экономики и населения страны качественным твердым топливом и продуктами его переработки.

Первое направление— использование углей для получения газа и жидкого топлива, гуминовых удобрений на основе молодых бурых углей, торфов, сапропелей, комплексная переработка отходов угледобывающей промышленности с получением ценной химической продукции и строительных материалов и производство бездымных брикетов из цельного угля.

Второе направление— использование основной части угля для производства электроэнергии.

Учитывая исключительно важное стратегическое значение железной дороги между северными и южными районами Кыргызстана для социально-экономического развития республики, промышленного освоения природных ресурсов Центрального Тянь-Шаня, а также строительства каскада гидроэлектростанций на р. Нарын, принято решение о сооружении железной дороги «Север-Юг» в направлении Балыкчы—Кочкор—Кара-Кече—Жалалабад.

В соответствии с оптимальной структурой топливно-энергетического баланса востребованные объёмы добычи угля по стране составят до 2,5 млн.т в 2015 г. и до 5,1 млн.т в 2025 г.

Становится очевидным, что в новой экономической ситуации, уже нет смысла вкладывать инвестиционные ресурсы в восстановление старых угольных шахт, законсервированных в период саморазрушения угольной отрасли республики. Необходимо начинать заново строить новую угольную отрасль, на коммерческой основе, как малыми, так и

крупными горнопромышленными компаниями и, в основном, за счет открытого способа, менее капиталоемкого и более производительного.

Наращивание производственного и экономического потенциала угольной отрасли должно обеспечить энергобезопасность страны и вывести угледобывающую промышленность в лидирующую отрасль экономики Кыргызстана.

Складывающаяся в настоящее время и на перспективу ситуация по обеспечению народного хозяйства республики энергоресурсами требует увеличения добычи собственного угля, постепенного отказа от импорта топлива, сокращения потребления природного газа и снижения энергетической зависимости от сопредельных государств Центральной Азии и России.

Учитывая состояние угледобывающей отрасли в системе ТЭК, необходимо рассмотреть на уровне Правительства решение следующих направлений на ближайшую перспективу:

1. Угольная промышленность, как уже было отмечено ранее, располагает достаточной сырьевой базой для полного удовлетворения потребностей экономики Кыргызстана в угольном топливе. Однако в современных экономических условиях уголь значительно уступает газу и нефтетопливу по затратным и экологическим показателям его использования потребителями и фактически замыкает топливно-энергетический баланс. Наращивание производственного и экономического потенциала отрасли должно обеспечить снижение риска в энергообеспечении республики от возможного невыполнения целевых установок стратегии развития страны. Отрасль имеет необходимые минеральные ресурсы, прогнозируется рост рынков сбыта угля, остается только обеспечить производственные резервы для наращивания объемов добычи угля до 3-5 млн.т в год к 2020 г.

2.В соответствии с оптимальной структурой топливно-энергетического баланса востребованные объёмы добычи угля по стране составят до 2,5 млн.т в 2015 г. и до 5,1 млн.т в 2025 г.

Так, согласно расчетов, востребованные объёмы потребления угля по стране составят от 2,5 млн.т в 2015 г. и до 3,8 млн.т в 2020 г.

Названные уровни потребности угля в целом по республике обеспечены разведанными запасами, что не исключает необходимости определенных дополнительных геологоразведочных работ.

3.Принципиально важно, что в отличие от быстро дорожающих газа и нефти, цены на уголь за счет вовлечения в отработку более эффективных его запасов, улучшения хозяйственной организации отрасли и, главное, технического перевооружения при добыче, переработке и транспортировке угля в период до 2013 г. будут изменяться более медленными темпами, а в период 2015-2020 годы за счет широкомасштабного вовлечения в разработку Кара-Кечинских углей и углей южного региона цена на энергетические угли стабилизируется.

Процесс стабилизации цен на уголь может сохраниться и в последующее десятилетие, что служит важным аргументом для увеличения его роли в топливно-энергетическом балансе страны.

4.Удовлетворение потребности экономики страны в угольном топливе будет связано с развитием добычи угля в бассейнах южного региона республики - Узгенского, Южно-Ферганского и Алайского. Межрегиональное значение будут иметь месторождения Кавакского бассейна.

5.В период 2015-2025 годы прогнозируется строительство 5 новых шахт и 1 разреза, из них:

- в Иссык-Кульском бассейне – 1 шахта (на базе подземного участка Кок-Белькомур и горизонта +1200м);
- в Северо-Ферганском бассейне – 1 шахта (месторождение Тегенек-Шахтный);

- в Южно-Ферганском бассейне – 2 шахты (на Сулюктинском и Кызыл-Кийском месторождениях);
- в Узгенском бассейне – 1 шахта (месторождение Маркай);
- в Кавакском бассейне – 1 разрез (месторождения Кара-Кече и Мин-Куш).

6. В целях роста конкурентоспособности угля на рынке энергоресурсов важное значение в рассматриваемый период должно приобрести улучшение качества угольной продукции. Для этого необходимо предусмотреть широкое применение наиболее прогрессивных методов добычи, переработки и обогащения углей на предприятиях угольной отрасли.

7. На основании вышеизложенного, можно констатировать, что расчетная потребность в угле определяется на 2013 и 2015 годы, в разрезе перспективных потребителей, по регионам и по республике соответственно: *по Северному региону:*

- для перспективных промпредприятий – 48 тыс.т и 772 тыс.т;
- для населения – 612,4 тыс.т и 667,4 тыс.т;
- по бюджетным организациям – 1273,7 тыс.т. и 1422,88 тыс.т;
- в том числе по ТЭЦ гор. Бишкек – 1120 тыс.т и 1220 тыс.т;
- Всего потребность – 1886,1 тыс.т и 2090,28 тыс.т.

по Южному региону:

- для перспективных промпредприятий – 65 тыс.т и 300 тыс.т;
- для населения – 319,4 тыс.т и 363,5 тыс.т;
- по бюджетным организациям – 39,5 тыс.т и 72,1 тыс.т;
- Всего потребность – 358,9 тыс.т и 435,6 тыс.т.

по Кыргызской Республике:

- для перспективных промпредприятий – 113 тыс.т и 1072 тыс.т;
- для населения – 931,8 тыс.т и 1030,9 тыс.т;
- по бюджетным организациям – 1313,13 тыс.т и 1495,02 тыс.т;

Итого потребность по республике – 2244,93 тыс.т и 2525,92 тыс.т.

8. По Южно-Ферганскому буроугольному бассейну угольные отложения прослеживаются с перерывами на протяжении 300 км при ширине 10 км от Сулюкты до Алмалыка с разведанными месторождениями бурого угля Сулюкта, Шураб, Шуранская группа месторождений, Учкоргон, Кызыл-Кия, Бешбурхан, Абшир, Жатан, Алмалык III.

Отложения Алайского угленосного района прослеживаются на протяжении 132 км с углепроявлениями и месторождениями Урмизан, Норус-Кол, Бел-Алма, Кожокелен.

Отложения Узгенского каменноугольного бассейна прослеживаются на 150 км при максимальной ширине 45 км с месторождениями Алдыжар, Кок-Жангак, Кулданбес, Кумбел, Зындан, Таржилга, Торгой-Тобо, Каргаша, Туйук, Кок-Кыя, Кара-Добо, Бештерек, Чытты, Аксур, Сурташ, Согуташ, Минтеке. Угленосность Северо-Ферганского каменноугольного бассейна простирается с перерывами на 75 км при ширине 10 км с месторождениями Майлису, Ташкомур, Кара-Тыт, Тегене, Ходжа-Ата, Падша-Ата, Аркит.

Кавакский буроугольный бассейн в Кок-Мойнок-Кара-Кечинской впадине простирается на 75 км с разведанными месторождениями Кара-Кече, Кашка-Су, Кок-Мойнок и Минкуш.

В Алабука-Чатыркольском угленосном районе угленосность известна на удаленных в большие расстояния отдельных мелких углепроявлениях Аксай, Турук и Торугарт.

В Южно-Иссык-Кульском угленосном районе угленосные юрские отложения прослеживаются на протяжении 250 км. В данном районе разведаны месторождения Согуты и Джергалан и два углепроявления Суттубулак и Жеркес.

9. Балансовые запасы угля, разведанные по промышленным категориям ($A+B+C_1$) – 1020,7 млн. т, по категории C_2 – 311,1 млн. т. Общие запасы и прогнозные ресурсы Кыргызстана оцениваются в 5,7 млрд. т.

При годовой емкости угольного рынка в Кыргызстане 2,5 млн.т, фактическая добыча угля не превышает 460 тыс.т–1 млн.т в год, за счет, главным образом, малых и средних предприятий с годовой производственной мощностью 10-50 тыс.т угля.

10.Становится очевидным, что в новой экономической ситуации, уже нет смысла вкладывать инвестиционные ресурсы в восстановлении старых угольных шахт, законсервированных в период саморазрушения угольной отрасли республики. Необходимо начинать заново строить новую угольную отрасль, на коммерческой основе, как малыми, так и крупными горнопромышленными компаниями и, в основном, за счет открытого способа, менее капиталоемкого и более производительного.

11.Строительство новых угледобывающих предприятий будет осуществляться в основном за счет внешних инвестиций, а добытый уголь будет закрывать внутренние потребности и поставляться на экспорт.

К эксплуатации привлекаются месторождения с высокими качественными показателями угля с использованием на очистных и подготовительных работах современного горно-шахтного оборудования.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

МОБИЛЬНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕУСТОЙЧИВЫХ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ НА УЧАСТКЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

Манжиков Б.Ц., Тилегенов К.

ИГОН НАН КР

Мобильность (подвижность) и устойчивость горных склонов, определяется жесткостью связей между их структурными элементами. Внешними признаками мобильности и склонности к гравитационным

склоновым процессам являются тектоническая нарушенность, блочная структура и трещиноватость породных массивов. Проявления высокой мобильности весьма характерны для грубо слоистых мраморизованных битуминозных известняков нижнего карбона на участке основных сооружений Токтогульского гидроузла на р. Нарын/1/.

Массив известняков в створе Токтогульской ГЭС имеет блочное строение с разрывными нарушениями различного порядка и ориентировки. Выраженная слоистость привнесенного терригенного материала в крупных субвертикальных трещинах, отчленяющих массивы, указывает на их поэтапное раскрытие вследствие неоднократных подвижек /2/. Толщина отдельных слоев, не превышающая 10 см, совпадает со средней величиной единовременных подвижек при постепенном сползании потенциально неустойчивых массивов в речную долину, равной 1-3 см. Ширина трещин 1-10 см в тыловой части массива, определяется общей величиной смещения отчлененных скальных массивов, достигающей, в отдельных случаях, десятков сантиметров. Сохранность заполнителя трещин свидетельствует о стабильном состоянии крупных трещин, отчленяющих потенциально неустойчивые скальные блоки от основного массива. Но, несмотря на это, очевидно, что обрушение потенциально неустойчивых массивов, например, вследствие интенсивных сейсмических воздействий, со временем неизбежно/1/.

Согласно проектному заключению наиболее опасные из выявленных потенциально неустойчивых массивов подлежали укреплению. Однако расчеты, выполненные с учетом дополнительных изысканий и высокой региональной сейсмичности, показали, что укрепительные мероприятия оказываются чрезвычайно затратными и продолжительными по времени /3/. В связи с этим, в качестве альтернативной меры по обеспечению безопасной эксплуатации гидроузла, было принято решение об организации постоянных инструментальных наблюдений с

целью своевременного выявления дестабилизации потенциально неустойчивых массивов. Данное решение было также в какой-то мере вынужденным, ввиду несовершенства существующих расчетных методов оценки устойчивости крутых береговых откосов и прогнозирования склоновых процессов.

Наибольшую опасность из выявленных потенциально неустойчивых структурных элементов горных склонов представляли массивы 46-R-7 и №59-1, расположенные на участках левобережного и правобережного примыканий плотины. Инструментальные наблюдения за смещением потенциально неустойчивых массивов в створе Токтогульской плотины с помощью кварцевых деформометров и гидростатических нивелиров, проводимые Институтом физики и механики горных пород Национальной Академии Наук Кыргызской Республики с 1969 года, свидетельствовали о стабилизации геомеханического состояния горных склонов по мере завершения строительства гидроузла/4-6/.

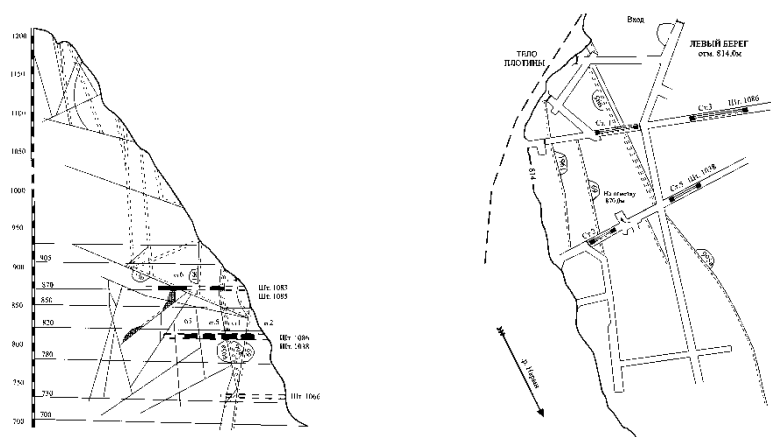


Рис 1. Вертикальный разрез и план расположения наблюдательных станций на отметке 814 м в потенциально неустойчивом массиве 46-R-7.

Массив 46-R-7 находится на участке левобережного примыкания Токтогульской плотины над зданием ГЭС, рис. 1. Высота блока 250 м, угол наклона 70° . Своевременное выявление признаков его дестаби-

лизации чрезвычайно важно для безопасной и эффективной эксплуатации гидроузла. Породы массива представлены трещиноватыми известняками, местами напоминающими по внешнему виду плотно уложенный щебень. Широко развитые тектонические трещины, образованные в процессе разгрузки склона, в большинстве своем видоизменены и преобразованы в тектонические трещины с бортовым отпором. Зона разгрузки в бортах каньона Токтогульской ГЭС составляет 20-40 м.

Сведения о наиболее крупных трещинах, формирующими потенциально неустойчивые массивы по данным ВНИИГ им. Веденеева /7/, представлены в таблице.

Таблица.

Трещина №	Ширина, см	Азимут, °	Угол падения, °	$tg\varphi$	Сцепление, $кг/см^2$
69	20-40	240-260	85	0,783	1,15
995a	10-40	260	60-80	0.6	0.55
995	3-40	260-270	70-80	0.6	0.55
166	0.5-40	260-270	80-85	0.6	0.55
7	-	170	20	0.6	0.55

Эрозионная нарушенность и трещиноватость крутых бортов каньона реки на участке Токтогульского гидроузла обусловили их повышенную мобильность и чувствительность к динамическим факторам естественного и техногенного характера. Основными из них являются: сезонные изменения климатических условий, колебания уровня водохранилища, сейсмичность, гравитационные приливные деформации, вибрации, возникающие во время принудительного водосброса и работе технологического оборудования.

Другой потенциально неустойчивый скальный массив, 59-1, согласно материалам Технического проекта основных сооружений Токтогульской ГЭС на р. Нарын /1/, расположен на участке правобережного примыкания плотины Токтогульской ГЭС на отметках 920-990 м вниз по течению реки. Передовая часть потенциально неустойчивого массива 59-1 представляет собой вполне сформировавшееся оползневое тело, отчлененное от основной скалы пологой наклонной отсекающей №714 и подсекающей №7 трещинами/1/. Сдвиговые характеристики последней приведены в таблице.

Общий объем отчлененной передовой части массива 59-1, склонной к обрушению, составляет 18380 м^3 , масса, при плотности пород $2.65 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, 48707 т . Коэффициент устойчивости массива по расчетам, выполненным в техническом проекте с учетом сейсмического воздействия, равен $K_y=1,21$.



Рис 2. Потенциально неустойчивый массив № 59-1 в правобережном примыкании Токтогульской плотины. Вид со стороны верхнего бьефа.

Результаты текущих наблюдений показывают, что передовая часть массива 59-1 продолжает постепенно терять свою устойчивость и, нуждается в срочном укреплении. Её наиболее опасный блок №3 имеет достаточно сложную конфигурацию, справа на рис. 2. Своей верхней частью он прислонен к основному массиву, в нижней трети, блок покоится на имеющемся выступе, как бы сидя на нем, нижней тонкой частью опираясь на нижележащий блок. Нижняя опорная часть блока местами сильно раздроблена вследствие неоднократных подвижек в прошлом, что указывает на ее недостаточную прочность. Из приведенной фотографии видно, что основная нагрузка приходится на выступ в нижней трети блока.

Результирующее движение структурных элементов горных склонов определяется совместным действием сил гравитации и причин, перечисленных выше, а также прочих неучтенных факторов, строгий контроль которых практически невозможен. Вследствие того, что действие влияющих факторов обычно невелико и хаотично во времени и пространстве, движение отдельных блоков в склоновом процессе представляет собой случайный процесс (СП) с нормальным распределением параметров. При усилении действия одного или нескольких факторов, как правило, происходит снижение устойчивости склона и повышение интенсивности склонового процесса, что проявляется в увеличении значений контролируемых параметров движения и их статистического разброса.

Наличие определенного соответствия между геомеханическим состоянием горного склона и регистрируемыми параметрами движения открывает возможность оценки мобильности(устойчивости) его структурных элементов, в частности, по величине их статистического разброса. В качестве показателей мобильности, целесообразно рассматривать количественные характеристики ответной реакции горных склонов, на какое-либо достаточно сильное тестовое воздействие,

например, периодически изменяющееся гравитационное притяжение со стороны Луны и Солнца. В частности, это могут быть амплитуды приливных волн, вычисляемые по результатам гармонического анализа параметров движения, регистрируемых с необходимым временным разрешением с помощью цифровых автоматизированных приборов.

Рассмотрим с этой целью параметры вертикальных движений структурных элементов потенциально неустойчивых скальных массивов на участках левобережного и правобережного примыканий Токтогульской плотины, контролируемых с помощью автоматизированных гидронивелиров RJ-50 фирмы NARI KHP. Данные приборы позволяют регистрировать вертикальную составляющую склонового процесса в автоматическом режиме с точностью 0.01 мм и частотой дискретизации данных час⁻¹.

Количество и методика обработки синхронных данных сохранялись едиными для трех контролируемых участков, что позволяло сопоставлять их мобильность по результатам гармонического анализа. В начале обработки для корректного выполнения гармонического анализа исходные данные проверялись на наличие пропусков и, в случае их обнаружения, восполнялись с помощью интерполяции методом сплайн аппроксимации. Затем следовала нормировка данных на величину измерительной базы прибора, что было необходимо для сопоставления мобильности участков по данным, полученным приборами с различной измерительной базой. Далее из нормированных данных вычитался низкочастотный тренд равный выборочному среднему, вычисляемому в скользящем временном окне постоянной ширины с единичным сдвигом. Ширина скользящего временного окна принималась равной периоду 15.333 суточной компоненты приливных волн или 368 часам. После этих предварительных операций выполнялось, собственно, дискретное преобразование Фурье, по результатам которого вычислялся амплитудный спектр вертикальных движений.

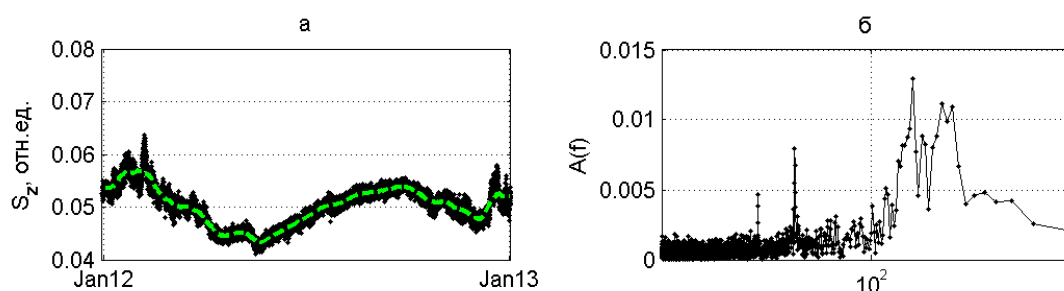
Автоматизированный гидронивелир, установленный на наблюдательной станции №1 в зоне влияния трещин 995 и 995а имел измерительную базу 12.7 м. Временные зависимости вертикальной компоненты движений смежных скальных блоков в указанной зоне, зарегистрированные в 2012 году, в виде точек приведены на рис. 3а. Из представленного графика видно, что показания прибора имеют заметные отклонения от среднего уровня, обозначенного на рисунке цветным пунктиром. Как отмечалось выше, статистический разброс данных обусловлен, влиянием многочисленных факторов, как чисто случайного происхождения, так и вполне детерминированных, к которым относятся, прежде всего, приливные деформации Земной коры, вызванные гравитационным взаимодействием Земли, Луны и Солнца. Земные приливы представляют собой ответную деформационную реакцию земной коры на периодически изменяющееся тестовое воздействие, параметры которого поддаются строгому расчету для любой точки земной поверхности и любого момента времени.

В амплитудном спектре вертикальных движений породных блоков, рис. 3б, выявляются интенсивные составляющие приливных движений с периодом 12, 24 часа и порядка сотен часов. Очевидно, амплитудные значения приливных волн отражают локальную мобильность скального массива и, при соблюдении одинаковых условий регистрации и обработки данных, они могут использоваться для ее количественной оценки и сравнения мобильности различных его участков.

Второй автоматизированный гидронивелир с измерительной базой 7.7 м был установлен в зоне влияния трещины 69 на наблюдательной станции №2. Временные зависимости относительных величин вертикальных смещений смежных породных блоков по трещине 69, зарегистрированные в течение 2012 года, в виде точек показаны на рис. 3в. Пунктиром на графике обозначен средний уровень вертикальных движений. Полусуточная и суточная компоненты земных приливов

в зоне влияния трещины 69, на рис. 3г, практически совпали по величине с аналогичными показателями для станции №1. Это свидетельствует об одинаковой мобильности скального массива 46-R-7 в зонах влияния трещин №995, 995а и 69, несмотря на различия их сдвиговых характеристик.

Третий прибор с измерительной базой 2.39 м предназначался для контроля вертикальной составляющей движений структурных элементов передовой части массива 59-1 правобережного примыкания плотины. Временной ряд относительных величин вертикальных движений блока №3 передовой части массива 59-1, зарегистрированных в 2012 году, изображен в виде точек на рис. 3д. Цветным пунктиром на рисунке показано среднее выборочное значение ряда, вычисленное в скользящем временном окне 368 часов. Показания данного прибора, на 2 порядка превышающие синхронные показания приборов, установленные в зонах влияния крупных трещин бокового отпора на станциях №1 и №2 в левобережном примыкании, имеют значительно больший статистический разброс (дисперсию) значений. Исходя из геометрии блока и результатов гармонического анализа, рис. 3е, разброс показаний прибора относительно среднего уровня объясняется малыми колебаниями, которые блок совершает вокруг горизонтальной оси вращения, совпадающей с выступом, на который он покоится в своей нижней трети.



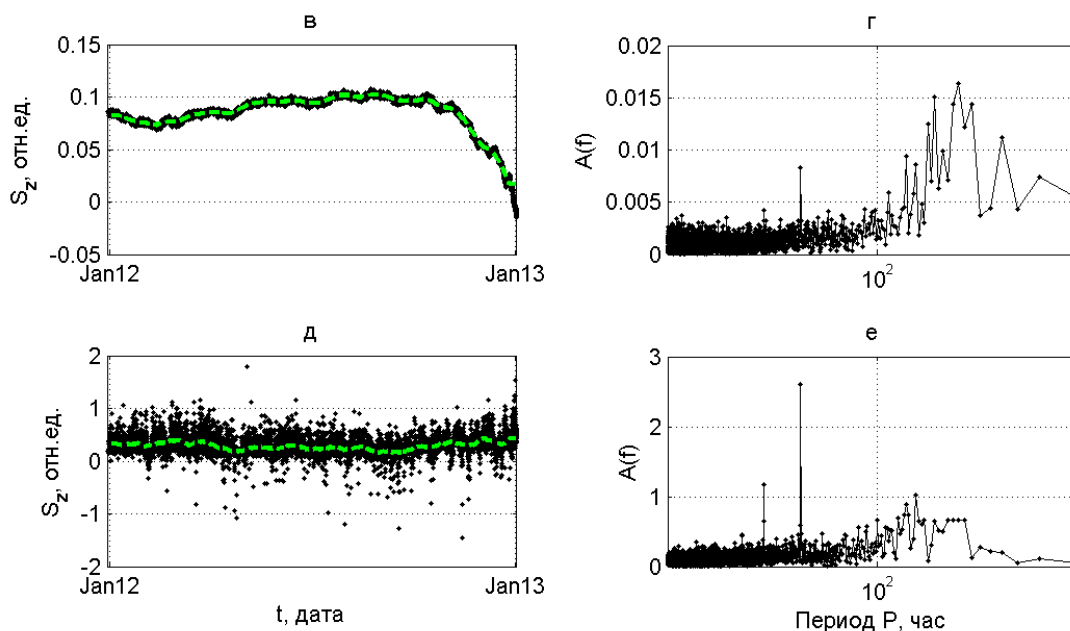


Рис3. а–вертикальные движения пород в зоне 995 и 995а, в –то же в зоне влияния трещины 69, д – то же передовой части массива 59-1,б, г, е – амплитудные спектры вертикальных движений.

В спектре колебаний блока, вычисленном по результатам преобразования Фурье, выделяются 8, 12 и 24 часовые компоненты приливных волн, амплитуды которых также более чем на 2 порядка превышают аналогичные показатели в зонах влияния трещин 995, 995а и 69 левобережного массива 46-R-7. Отсюда следует, что мобильность передовой части массива 59-1 во столько же раз выше, чем подвижность структурных элементов левобережного массива 46-R-7 в зонах влияния трещин 995, 995а и 69.

Очевидно, указанные отличия обусловлены, прежде всего, локальными геомеханическими особенностями конкретного участка. Если, передовая часть правобережного массива 59-1 фактически не имеет жесткой связи с основной скалой, то, движение смежных породных блоков левобережного массива 46-R-7 вдоль структурных нарушений происходит в стесненных условиях, так как ограничено за счет объемного эффекта работы бетонной плотины.

Выводы. Мобильность и устойчивость горных склонов отражается в периодических приливных деформациях, обусловленных гравитационным взаимодействием Земли с Луной и Солнцем.

В качестве количественных показателей мобильность горных склонов могут служить статистические характеристики параметров движений структурных элементов, в частности, амплитудные значения полусуточных и суточных приливных волн.

В связи с этим, при геомеханическом мониторинге потенциально неустойчивых структурных элементов горных склонов на участках ответственных инженерных сооружений, целесообразно применение аппаратных средств, обеспечивающих возможность регистрации приливных деформаций земной коры с достаточным временным разрешением.

По результатам наблюдений выявлена высокая мобильность передовой части массива 59-1 в правобережном примыкании плотины, указывающая на ее склонность к обрушению. Для обеспечения ее необходимой устойчивости требуется выполнение срочных укрепительных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Технический проект основных сооружений. Т. 1. Природные условия, инженерно-геологическое обоснование. Ташкент, САО Гидропроект, 1969. 301 с.
2. Токтогульская ГЭС на реке Нарын. Материалы к рабочим чертежам. Ориентировочная сценка устойчивости обвально-оползневых массивов на склонах долины р. Нарын в районе Токтогульского гидроузла.-М.: Фонды Всесоюзного ордена Ленина проектно-изыскательского института им. С.Я.Жука. 1970. 63 с.

3. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Материалы к рабочим чертежам: «Крепление массивов левого берега №11 и №5». Записка №9026/34-т46а. Москва 1973. 25 с.
4. Исследование статической устойчивости элементов склонов каньона р. Нарын в районе строительства Токтогульской ГЭС. Промежуточный отчет.-Фрунзе: Фонды ИФиМГП, 1970.
5. Степанов В.Я. Механика горных склонов – Бишкек: Илим, 1992. – 192 с.
6. Латынина Л. А., Кармалеева Р. М. Деформографические измерения. М.: Наука, 1978, с.154.
7. Технический отчет по теме: «Исследование скального основания плотины Токтогульской ГЭС на р.Нарын. ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева и Гидропроект им. С.Я.Жука. Л. 1969.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Выпуск семнадцатый, 2013 г.

СОБЕННОСТИ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Никольская О.В., Кадыралиева Г.А.

ИГиОН НАН КР

Кыргызстан богат полезными ископаемыми, располагает крупными месторождениями золота, каменного угля, сурьмы, ртути, урана, цинка, редкоземельных металлов и нефелиновых сиенитов и горнодобывающая промышленность является одной из приоритетных отраслей развития экономики.

На территории Кыргызстана разрабатывались как первичные, так и россыпные месторождения. Следы древних разработок наблюдаются среди первичных коренных золоторудных месторождений как Боз-Эмчек, Кичи-Сандык, Куру-Тегерек, Ак-Таш, Кум-Бель, Куран-Жайлоо. К настоящему времени на территории Кыргызстана разведано порядка 2500 коренных месторождений золота. Из них для промышленного освоения по запасам золота выделены месторождения, на которых запасы руды более 30 тонн[1].

Наиболее крупным, уникальным месторождением на территории Кыргызстана является Кумтор, запасы руды превышают 400 т. 70 тонн руды и более содержится на таких месторождениях как Джеруй, Талдыбулак Левобережный, Чаарат. На месторождениях Макмал, Бозымчак, Ункурташ, Иштамберды, Алтын-Жылга, Ничкесу, Тохтозан запасы составляют от 30 до 70 тонн. [1]

Золоторудные месторождения, как правило, являются нагорными и разрабатываются комбинированным способом. Ведение горных работ в нагорных карьерах осложнено рельефом поверхности и характеризуются сложными горно-геологическими, тектоническими и гидрогеологическими условиями. Вмещающие породы представлены, как правило, интрузивными и эффузивными породами, подвергнутыми гидротермально-метасоматическим изменениям. Породы сильно трещиноватые, причем интенсивность трещиноватости возрастает на контактах разновидностей пород и тектонических нарушений.

Безопасность эксплуатации нагорных карьеров определяется свойствами, геологической среды. Геологическая среда рассматрива-

ется как сложная самоорганизующаяся нелинейная система, в которой физические процессы в земной коре имеют определяющее значение. Геологическая среда включает такие элементы как рельеф местности, массив горных пород, горные породы и их свойства, подземные воды, многолетняя мерзлота, природные гравитационные процессы, и при техногенной деятельности она испытывает воздействие, которое существенно изменяет свойства ее отдельных элементов, скорость и направленность происходящих в ней процессов[2].

К основным факторам геологической среды, которые существенным образом влияют на устойчивое состояние бортов карьера, стабильность прибортового массива и безопасность ведения горных работ относятся:

- Тип горных пород, грунтов и почв, их структура, текстура, физико-механические и геохимические свойства.
- Тектоническая нарушенность и неоднородность породного массива.
- Параметры гидрогеологических свойств и процессов
- Эндогенные и экзогенные процессы, тепловое поле.
- Особенности геологических структур.
- Рельеф земной поверхности.
- Геодинамическая активность, сейсмичность.
- Геофизические поля.

Активными структурообразующими элементами геологической среды являются тектонические разломы и трещины, которые представляют собой зону нарушения сплошности земной коры, разделяющий породный массив на два блока и выражающийся в сложной и разнообразной деформации земной коры. Тектонические разломы и трещины присутствуют в любом горном массиве и на любой территории.

В результате сбросов и крупных надвигов породы подвергаются к длительному смещению, накладыванию друг на друга пород различного происхождения и основательно меняется их структура, состав и физико-механические свойства, которые имеют особое влияние на геологическую среду.

Золоторудные месторождения Кыргызстана приурочены к крупным краевым и региональным разломам, различным разрывным нарушениям, сбросам и надвигам. Вмещающие породы в этих зонах представлены дробленными метасоматитами, метаморфизованными сланцами, тектоническими брекчиями, кварцевыми метасоматитами, метасоматитами кварц-карбонатного состава, сильно трещиноватыми метасоматитами, представленными кварц-турмалинами, кварц-карбонатами, кварц-серицитами, гнейсами, амфиболовыми сланцами, окварцованными песчаниками, диоритами и другие.

Под метаморфизмом горных пород понимают существенные изменения их минералогического состава, структуры и текстуры, происходящие под воздействием внутренних эндогенных процессов земной коры с сохранением твердого состояния породы.

В результате метаморфизма изверженные и осадочные породы изменяют свои физико-механические свойства; степень этих изменений зависит от интенсивности и характера метаморфических процессов. Принято различать несколько видов метаморфизма: дислокационный, термальный и динамо - термальный. Для каждого из них типичны свои горные породы с характерными структурно-текстурными особенностями и физико-механическими свойствами. (рис 1)

Дислокационный метаморфизм ограничен участками развития сбросов и других тектонических нарушений. Такой метаморфизм совершается при небольшом гидростатическом давлении и довольно низкой температуре. Деформации при дислокационном метаморфизме часто сопровождаются сдвигами.

В гранитоидах и песчаниках чаще происходят разрывные деформации, так как в состав этих пород входит кварц, роговая обманка и т.п. – минералы высокой прочности. Тонкослоистые глинистые породы в тех же условиях испытывают преимущественно пластические деформации. В метаморфизованных гранитоидах и песчаниках перекристаллизация вещества практически не происходит, а в глинистых сланцах, богатых коллоидным веществом, создаются условия, благоприятные для интенсивных процессов перекристаллизации. Брекчии трения состоят из обломков пород различной величины, обычно остроугольных, сцементированных тонкораздробленной массой тех же пород.

Термально-метаморфизованные породы формируются главным образом под температурой, источником которой является магма. Под действием тепла на границах интрузивных тел с вмещающими породами образуются зоны, сложенные контактово-метаморфизованными породами. Наиболее типичными породами термального метаморфизма являются контактовые роговики, скарны, кремнистые породы.

Динамо - термальный метаморфизм это сложное взаимодействие температуры, напряженного состояния и гидростатического давления приводящий к формированию метаморфических пород с различными физико-механическими свойствами.

На процессы перекристаллизации большое влияние оказывает гидростатическое давление.



Рис 1. Виды метаморфических горных пород и их общая характеристика

Таблица 1. Среднее значение физико-механических горных пород залегающих преимущественно в зонах влияния тектонических нарушений.

Виды метаморфизма	Свойства Породы	Плотность γ , кг/м ³	Водопоглощение W , %	Пористость P , %	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	Предел прочности при сдвиге $\tau_{сд}$, МПа	Угол внутреннего трения φ , град	Сцепление C , МПа
Дислокационный	Гранитоиды	2460-2730	0,32-4,01	0,37-4,43	50,7-292,5	2,02-11,70	24,34-140,4	67	5-29,2
	Песчаники	2480-2670	0,26-4,52	4,10-4,51	59,0-292,5	2,36-11,70	32,44-45,74	66-70	5,0-29,0
	Тектонические брекчии	2410-2710	0,23-3,73	1,09-8,40	68,1-192,5	2,72-7,70	36,87-97,22	67	1,9-19,5
Термальный	Контактовые роговики	2680-2730	0,48-0,49	7,9-8,8	48,1-68,6	9,1-18,3	24,5-31,36	60	2,5-2,7
	Скарны	2850-3450	0,23-5,00	16,33	63,5-259,9	7,8-23,4	32,68-25,13	46-56	17,5-34,0
Динамотермальный	Гнейсы	2510-2820	0,2-2,23	0,61-3,0	46,6-167,5	4,5-15,3	25,4-80,9	39-40	4,4-5,8
	Кварциты	2500-3210	0,29-4,32	0,54-14,7	75,8-231,6	3,03-9,26	40,61-16,22	67	8,15-3,31
	Кристаллические сланцы	2590-2630	0,12-0,32	3,70-7,14	75,0-155,0	3,0-6,2	36,0-74,4	43	4,2-4,62

С повышением этого давления уменьшается температура плавления минералов; минералы, кристаллизующиеся на глубине, обладают большей плотностью, чем те, из которых они образовались. С другой стороны, гидростатическое давление, обуславливает процессы пластического деформирования.

Среднее значение физико-механических свойств характерных метаморфических горных пород месторождений расположенных в зонах влияния тектонических разломов приведены в таблице 1.

Таким образом, к особенностям свойств основных вмещающих пород в зонах влияния тектонических разломов относятся:

1. сильная трещиноватость, сланцеватость и блочность горных пород;
2. низкая пористость в среднем, которая составляет 0,37-7,14% и низкая водопоглощаемость который не превышает 0,12-4,70%;
3. высокие прочностные значения при сжатии и низкие значение при растяжении;
4. хрупкость горных пород в среднем составляет 24-25%
5. прочностные значения горных пород в водонасыщенном состоянии снижаются от 12% до 37% в зависимости от типа пород;

ЛИТЕРАТУРА

1. Никоноров В.В., Караев Ю.В., Борисов Ф.И. «Золото Кыргызстана Книга 2. Описание месторождений» Б. «Наси», 2004
2. Сергеев Е.М. Проблемы инженерной геологии в связи с охраной и рациональным использованием геологической среды. Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 1987. №5. С.77-86

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ
ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОГО ОБРАЗЦА
С ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ**

Казакбаева Г.О.

ИГиОН НАН КР

Напряженному состоянию горного массива, как одному из основных факторов горного давления, уделяется особое внимание. Все горные массивы разбиты трещинами; часто в отдельных участках они полностью раздроблены и местами перемолоты. Это доказывает, что эти массивы, в течение истории Земли, находились в напряженном состоянии, которое нередко достигало предела прочности слагающих их пород. Напряжения, разрушившие горный массив, не могли возникнуть лишь только под влиянием веса горных масс. Для того, чтобы еще не растрескавшееся горизонтально залегающее гранитное тело с прочностью, равной примерно $10\ 000\ \text{т/м}^2$, под действием нагрузки собственного веса растрескалось у своего лежащего бока, необходима толщина примерно 7000-10 000 м. Однако известны массы горных пород сравнительно небольшой мощности, разбитые трещинами вплоть до самой поверхности, вблизи которой напряжения, вызванные собственным весом пород, совсем незначительны. Напряжения, обусловленные собственным весом, главная ось направления которых вертикальна, не могут являться причиной образования трещин, залегающих под углом менее $45\text{-}50^\circ$. Тем не менее, более пологие трещины, достаточно часто встречаются. Таким образом, большое число разруше-

ний происходит в результате тектонических процессов, которые обуславливают появление чрезмерных нагрузок в горном массиве. Поэтому всегда следует учитывать наличие остаточных напряжений, так как в теле, находящемся под напряжением, почти доходящим до предела прочности, всегда остается напряжение даже при продолжительной разгрузке и при полном прекращении действия сил. Напряжения также не исчезают полностью при процессах ползучести и перекристаллизации, которые также происходят под влиянием имеющихся напряжений.

Ползучесть и релаксация - проявление свойства тела изменять свое напряженно-деформированное состояние во времени. Эти проявления обнаруживаются в определенных частных случаях режима: ползучесть - в случае постоянства напряжений, релаксация - в случае постоянства деформаций. В перераспределении напряжений наиболее ясно проявляется скрытые напряжения в земной коре. Горные удары, разрывы пород и оползни - самые известные проявления перераспределения напряжений. Независимо от того, какие формы возникают при указанных перераспределениях напряжений - разрывы или движения по имеющимся путям, порода во всех случаях претерпевает деформацию и подвергается большему или меньшему разрыхлению. Особенно опасно раздробление при изменении характера деформирования, когда тело, находящееся под сжимающей нагрузкой, внезапно испытывает сдвиговую или даже растягивающую нагрузку, тогда происходит внезапное разрушение тела [1].

В связи с этим, исследование характера перераспределения напряжений при длительных нагружениях модельных твердых образцах является актуальной задачей. Поэтому, в данной статье приводятся результаты экспериментального исследования характера перераспределения напряжений в твердом оптически активном модельном

образце (с внутренними остаточными напряжениями) при длительном действии на него внешней вертикальной сжимающей нагрузки.

Описание модели и постановка задачи. Изучение перераспределений напряжений велось на плоском твердом модельном образце. Прочность модельного образца на сжатие $\sigma_{сж} = 90$ МПа и он изготовлен из оптически активного материала на основе эпоксидной смолы. Существенным достоинством таких оптически активных материалов является возможность непосредственного экспериментального получения величин напряжений (а не деформаций) и исследования как процессов нагружения и разгрузки, так и остаточных напряженных состояний */2/*. В модельном образце, методом термообработки созданы поля остаточных напряжений. По основным сечениям (направлениям) образца определены величины остаточных напряжений и установлен их характер распределения. Для определения величин напряжений использован хорошо известный поляризационно-оптический метод */3/*. Результаты этих исследований опубликованы в работах */4, 5/*. Дальнейшая наша задача заключалась исследовании характера перераспределения суммарных напряжений в данном образце (образец с полями остаточных напряжений + напряжения от внешней нагрузки) при действии длительного вертикального нагружения.

Анализ результатов эксперимента.

Для наглядности ниже приведены опубликованные ранее нами эпюры распределения остаточных напряжений по основным сечениям ненагруженного образца (рис.1-2) */4-5/*.

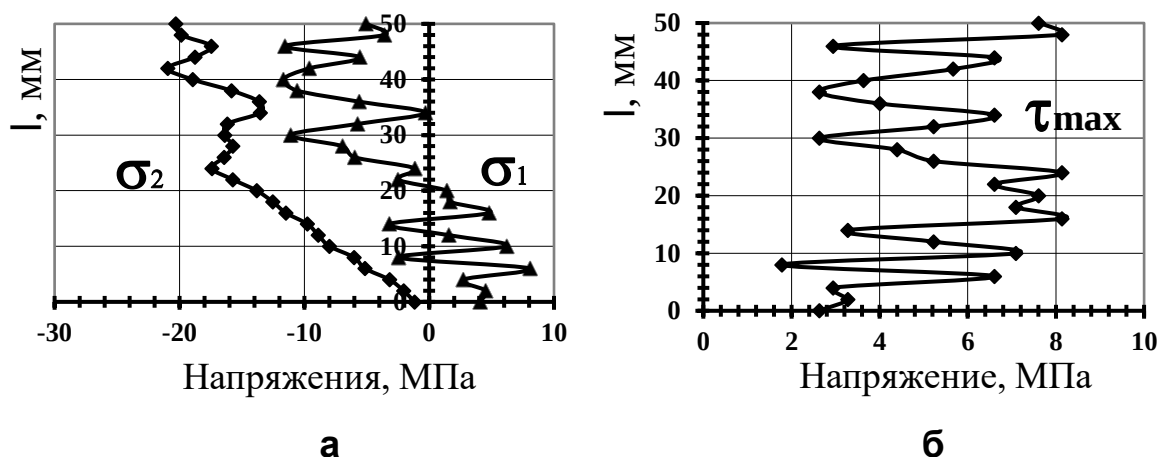


Рис. 1. Эпюры распределения остаточных напряжений по вертикальному сечению образца а) σ_1 и σ_2 ; б) τ_{max} .

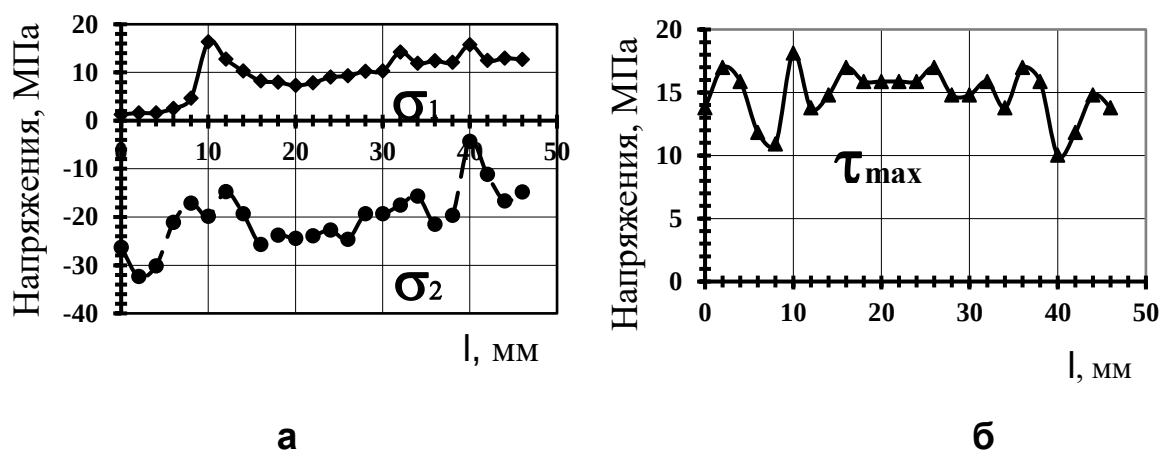


Рис. 2. Эпюры распределения остаточных напряжений по горизонтальному сечению образца а) σ_1 и σ_2 ; б) τ_{max} .

Из рисунков видно, что и по вертикальному, и по горизонтальному сечению образца с остаточными полями напряжений, главные нормальные напряжения имеют и растягивающие, и сжимающие значения. Сжимающие напряжения по сравнению с растягивающими напряжениями принимают более высокие значения. Как видно из выше приведенных эпюр, характер распределения и главных нормальных, и максимальных касательных остаточных напряжений в образце имеет неоднородный вид (рис. 1-2).

Далее образец с полями остаточных напряжений (рис. 1-2), подвергался длительной незначительной вертикальной нагрузке для исследования характера перераспределения суммарных напряжений. В нагруженном образце первые четыре измерения суммарных напряже-

ний производились в неделю один раз. Пятое измерение произведено через три месяца после предпоследнего измерения напряжений в образце, так как больших изменений до этого в перераспределении напряжений не наблюдалось. Ниже приведены результаты экспериментальных исследований в виде эпюр главных нормальных и максимальных касательных напряжений. Для сравнения полученных эпюр напряжений, построены сводные графики по основным сечениям образца (рис. 3-4).

Из эпюр суммарных главных нормальных и максимальных касательных напряжений по вертикальному сечению образца видно, что при постоянной длительной вертикальной нагрузке, по сравнению с остаточными полями напряжений, наблюдается значительный рост величин растягивающих напряжений и увеличение их зон действия. Рост величин сжимающих напряжений по данному сечению имеет место только вблизи торцевой части образца (рис.3). Эпюры напряжений по горизонтальному сечению образца показали, что величины и зоны действия, сжимающих и растягивающих напряжений значительно снизились (рис.4). Также по результатам трех измерений видно, что в боковой части образца растягивающие напряжения σ_1 перешли в небольшие сжимающие напряжения.

Результаты экспериментальных исследований показали, что в твердом оптически активном образце с остаточными полями напряжений, находящейся под действием постоянной длительной нагрузки, происходили значительные перераспределения суммарных напряжений. По вертикальному сечению образца, в отдельных зонах наблюдалось рост суммарных напряжений, а по горизонтальному сечению их снижение. Также нужно отметить, что, по вертикальному сечению образца, растягивающие и сжимающие суммарные напряжения за исследуемый период (4 месяца) создали неблагоприятные зоны, которые могут привести к возникновению трещин.

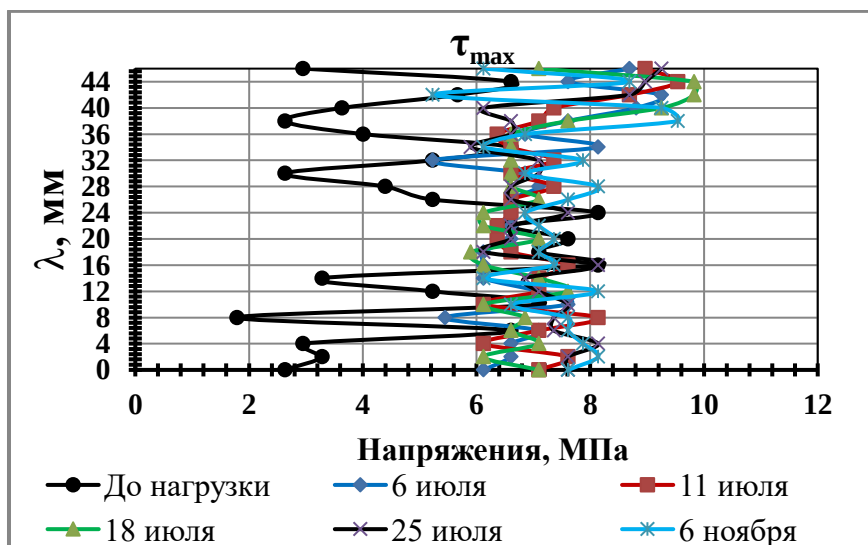
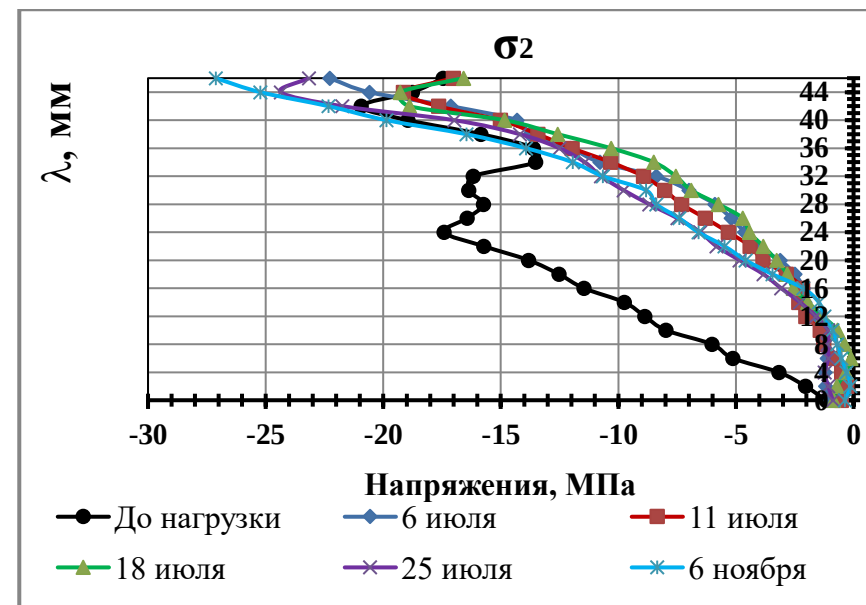
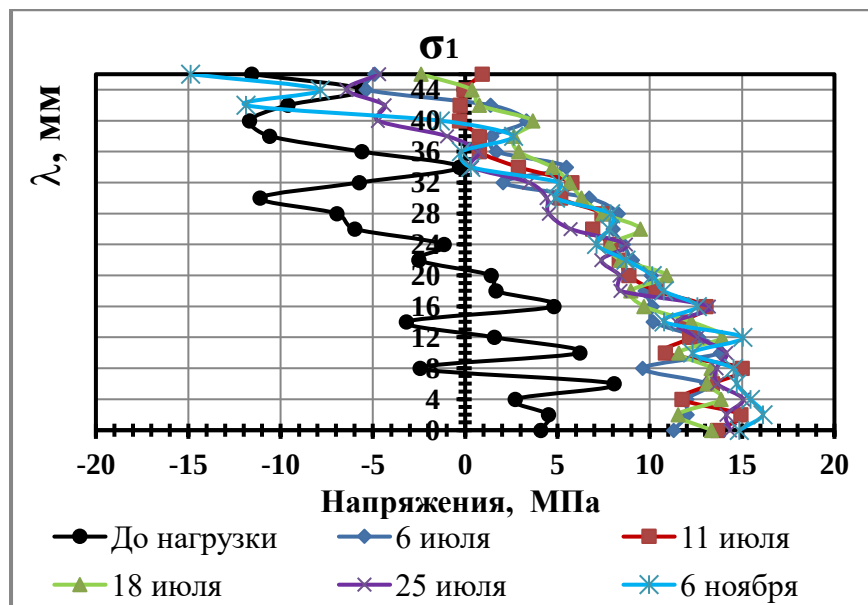


Рис. 3. Эпюры остаточных и суммарных напряжений σ_1 , σ_2 , τ_{max} по вертикальному сечению оптически активного образца.

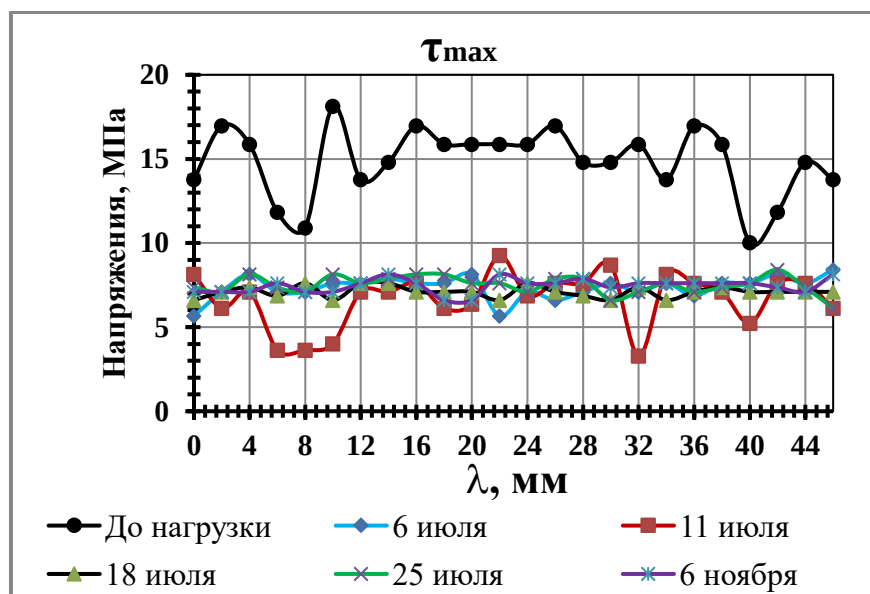
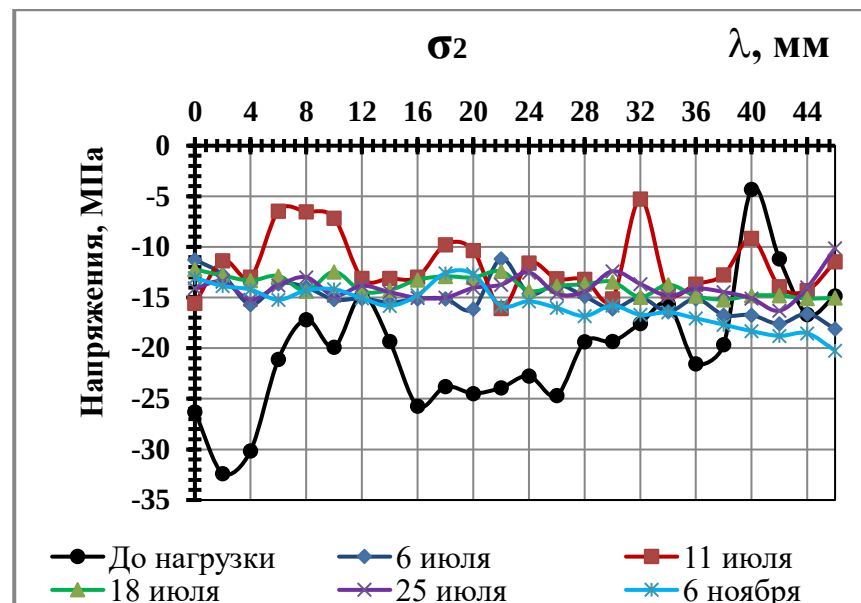
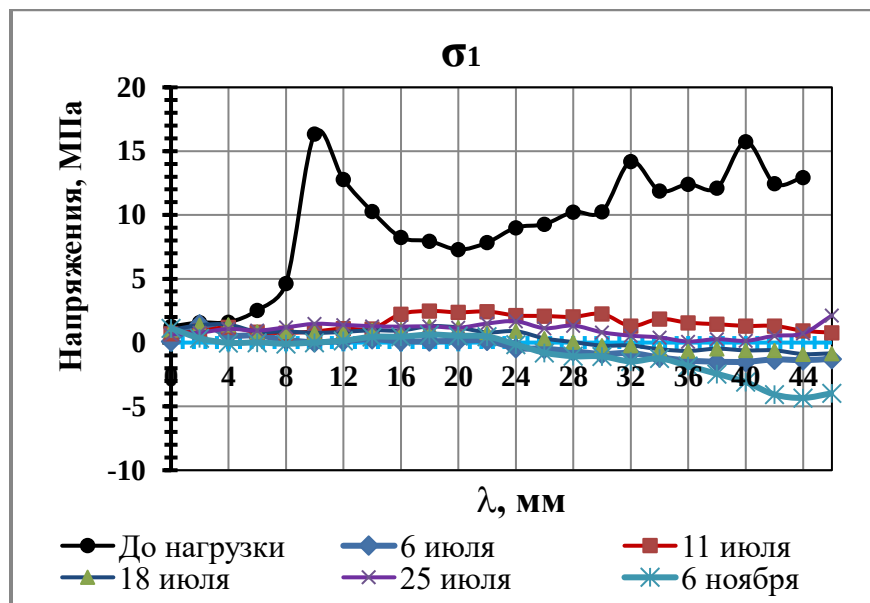


Рис. 4. Эпюры остаточных и суммарных напряжений σ_1 , σ_2 , τ_{max} по горизонтальному сечению оптически активного образца.

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет заключить, что:

1. Длительное нагружение образца (с полями остаточных напряжений), привели к росту величин суммарных напряжений по его вертикальному сечению, а по горизонтальному - к снижению;
2. В процессе перераспределения напряжений в отдельных точках и зонах по вертикальному сечению образца, формируются высокие напряжения, которые могут привести к появлению трещин и даже разрушению материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Мюллер. Инженерная геология (Механика скальных массивов) Изд. «Мир», Москва, 1971. С. 254.
2. И.И. Бугаков. Ползучесть полимерных материалов. //Изд. Наука, Москва. -1973. –С.286].
3. Р.И. Хаимова-Малькова. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. Изд.»Наука», Москва. 1970. С.114.
4. И.Т. Айтматов, Казакбаева Г.О. Моделирование взаимодействия остаточных напряжений с напряжениями от внешних сил в твердых оптически-активных образцах. Труды Всероссийской конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», посвященной 80-летию ак. М.В. Курлени (с участием иностранных ученых) (3-2 октября 2011 г.). В II т. Т. I. — Новосибирск: Ин-т горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2011. С. 55-60с.
5. Г.О. Казакбаева. Взаимодействие остаточных напряжений с полями напряжений от внешних вертикальных и горизонтальных нагрузок. В сб. /Современные проблемы механики сплошных сред, выпуск 16. - Бишкек, 2012г. С. 233-238.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НА ВЫСОКОГОРНОМ РУДНИКЕ КУМТОР И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Торгоев И.А.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Введение. Три геотехнические проблемы серьёзно осложняют и сдерживают планомерное и безопасное освоение недр на руднике Кумтор (рис.1): массовые гравитационные обрушения высокого и крутого борта в северо-восточной части (зоне штокверка) Центрального карьера (ЦК); сползание в ЦК первоначальных отвалов и глетчерного льда ледника Давыдова в юго-восточной части (зоне SB) карьера, в так называемой «зоне сильных движений или деформаций» (рис.1) и

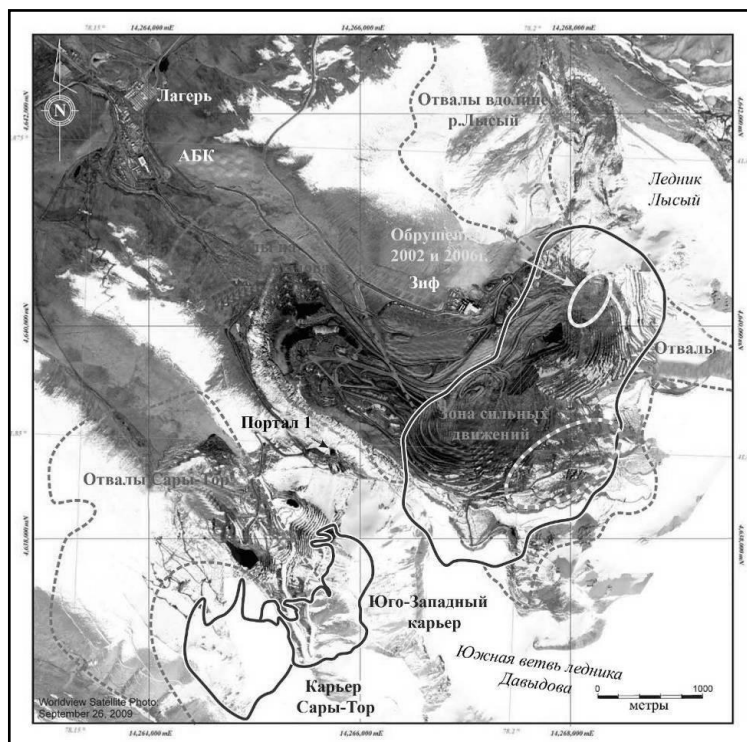


Рис.1. Космоснимок (2009г.) рудника Кумтор с ледниками, контурами отвалов, карьеров и с проблемными участками Центрального карьера, выделенными овалами /2/.

подвижки ледово-каменной массы отвалов вниз по долине р. Чон Са-рытор с реальной угрозой разрушения объектов производства и инфраструктуры рудника.

При сдаче в 1999 г. Центрального карьера в эксплуатацию Госгортехнадзор был против приёмки, и направил всем членам Государственной приёмочной комиссии особое мнение. В нём указывалось на отсутствие проекта разработки карьера, в котором должны были бы отражены вопросы устойчивости бортов, проблемы водоотлива, и другие аспекты, требуемые нормативными документами по промышленной безопасности. По этой же причине Госгортехнадзор в 2000 г. отказал КОК в согласовании плана развития горных работ. Однако тогдашнее Правительство страны разрешило разработку месторождения без проекта. Подобная практика, ставшая для КОК нормой на все последующие годы, отрицательно отразилась на горных работах в период строительства и эксплуатации основных объектов рудника (карьера, отвалов и хвостохранилища), породив ряд проблем.

Одной из главных причин возникновения геотехнических проблем в ЦК стали ошибки и просчёты при проектировании карьера и формировании отвалов. В первую очередь эти просчёты связаны с недостаточно полным учётом гляциологических и геокриологических особенностей геологической среды в рассматриваемом гляциально-нивальном поясе Тянь-Шаня, характеризующимся наличием современного оледенения с господством активных ледников (рис.1), снежников, морен и многолетней (вечной) мерзлоты.

Ошибки проектирования ЦК и игнорирование особенностей уникальных природных условий месторождения обусловили и без того высокий уровень капитальных затрат, лишив Кыргызстан дивидендов от прибыли. Перерасход финансовых средств связан с повторным переносом значительной массы отвальных пород, первоначально уложенных на леднике Давыдова (78 млн. долл. США), изъятием и

транспортировкой только в 2012 около 60 млн. м³ льда ледника Давыдова, а также с необходимостью осушения ЦК. Рассматриваемые ниже геотехнические проблемы значительно усложнили горно-добычные работы в ЦК из-за того, что вначале был заблокирован доступ к зоне штокверка, а затем и к зоне богатого оруденения SB. Перебои в работе рудника стали причиной остановки ЗИФ с конца июля по 17 сентября 2012 г. В настоящее время подвижки ледово-каменной массы вниз по долине р. Чон Сарытор привели к разрушению здания административно-технического корпуса КОК, представляют угрозу разрушения электроподстанции и других объектов рудника.

Центральный карьер рудника Кумтор. В геологическом отношении месторождение Кумтор сложено рассланцованными и смятыми в складки филлитами и ассоциируется с двумя минерализованными зонами Кумторского разлома (КР) шириной около 400 м и длиной в пределах концессионной зоны -10 км. Месторождение нагорно-глубинного типа представлено тремя зонами оруденения: основной центральной и двумя периферийными – северной и южной /3/. Породы в рудной зоне характеризуются кварц-полевошпат-пиритным составом. По геолого-структурным характеристикам породы делятся на четыре основные зоны, контакты между которыми ориентированы параллельно КР. Породы первой зоны состоят из рассланцованных углистых пелитовых филлитов висячем боку КР. Плоскости сдвига в этой верхней зоне ЦК содержат углеродистый материал. Породы второй зоны по большей части представляют собой руду, состоящую из филлитов, которые содержат смесь глины и линзы кварца. Центральная часть ЦК сложена породами третьей зоны, представляющими собой филлиты алевролитовой и пелит-алевролитовой текстуры. В этой зоне встречаются также углистые сланцы, местами – графитовые участки разломов, ответвляющихся от КР. Четвёртая зона представлена также филлитами пелитовой и алеврит-пелитовой текстуры. Места с повы-

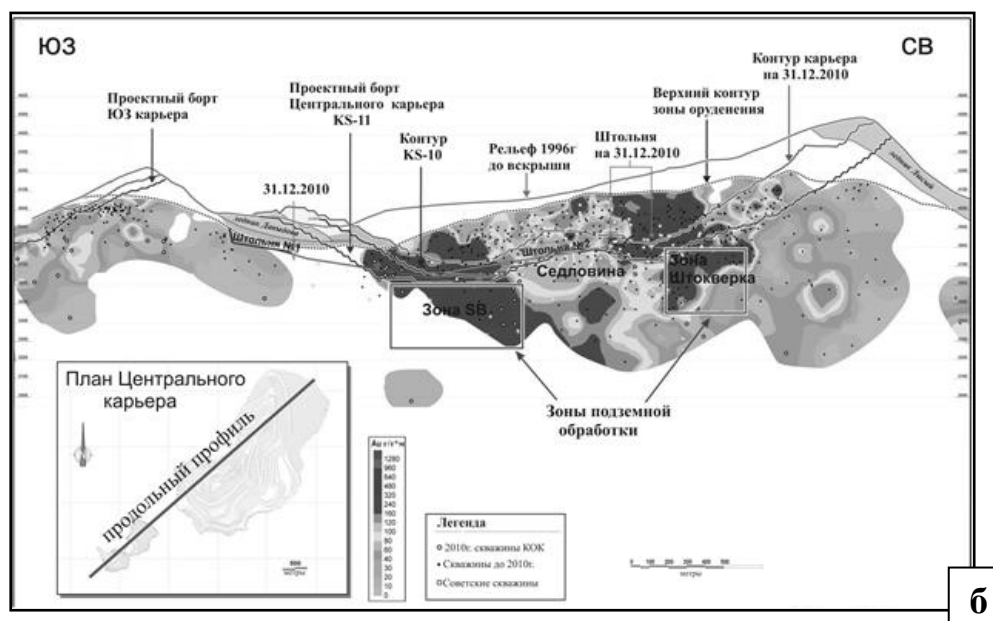


Рис.2. План Центральной части Кумторского золоторудного месторождения (а), продольный разрез карьеров и зоны оруденения (б) по проектам КС-10 и КС-11 /2/.

В соответствии с пространственным положением зоны оруденения ЦК вытянут в направлении с юго-запада на северо-восток (рис.2а) и представляет собой открытую горную выработку с двумя углублёнными зонами, приуроченными к наиболее богатым участкам месторождения - штокверковой зоне в северной части и зоне СВ в южной части карьера. В настоящее время удлинённая северо-восточная часть ЦК имеет высоту от 350 до 470 метров, максимальную ширину вкрест простирания рудного тела - 1200 метров, длину по верху - 1300 метров /1/. Южная часть ЦК представляет собой круглую яму диаметром около 1000 метров и глубиной - 200 м. Сужающаяся часть карьера между северной и южной частями имеет ширину около 800 м. Вскрышные породы и золотосодержащая руда месторождения имеют коэффициент крепости по шкале М.М. Протоद्याконова $f = 1.5 - 1.7$ и большую часть года находятся в мёрзлом состоянии. При открытом способе разработки месторождений необходимо учитывать значительные изменения прочности вмещающих горных пород, подвергаю-

щихся резким перепадам температуры. Согласно имеющимся данным по физико-механическим свойствам пород Кумтора, величина предела прочности на сжатие изменяется в пределах 48.2-53.2 МПа, значение прочности на разрыв - 7.2-62.7 МПа /4/. Физико-механические свойства вмещающих пород (филлитов) следующие: модуль Юнга - 70 ГПа; коэффициент Пуассона – 0.25; объёмный вес – 2.75 г/см³; сцепление - 5.54 МПа; угол внутреннего трения -60°.

Конструкция бортов карьера была запроектирована исходя из рекомендаций геотехнической компании «Голдер ассошиэйтс» (ГА), представленных в ТЭО 1993 г. Для оценки устойчивости бортов ЦК использовался модифицированный метод анализа устойчивости склона Бишопа по специально разработанной ГА компьютерной программе SPLOPE. Большая часть уступов нагорной части ЦК была поставлена в предельное положение, борт карьера сформирован в основном строенными уступами высотой 24 м (3·8 м) с бермой безопасности шириной 12 м между ними. При угле откоса уступа 63.4° угол откоса борта составлял 45°. Отступление от этих параметров было сделано для наиболее высокого (550 м) северо-восточного участка борта ЦК. Ширина бермы безопасности в данной зоне была увеличена до 21 м, что привело к снижению угла откоса борта до 36° при том же угле откоса уступа. Такие же проектные параметры были заложены для северо-западного и западного бортов, которые сформированы в брекчиевых зонах Кумторского разлома.

Рудовмещающий Кумторский разлом северо-восточного простирания выражен мощной зоной дробления, будинажа, смятия и лимонотизации горных пород и представляет собой древний взбросо-надвиг, обновлённый при современных тектонических движениях. Влияние зоны Кумторского разлома проявляется как в субпараллельных нарушениях во всех зонах оруденения, так и в нарушениях, простирающихся перпендикулярно зоне разлома. Разломы, сдвиги и

сланцеватость являются структурами, предопределяющими устойчивость бортов карьера, и их влияние отчётливо проявилось в крупномасштабных обрушениях борта, рассмотренных ниже.

Горные работы на карьере начались в 1993 г. с удаления глетчерного льда, покрывавшего карьерное поле слоем, достигавшим 40-45 м. КОК ведет разработку бортов карьеров в сложных геоморфологических, гляциологических и геокриологических условиях высокогорья, на высоте 3700-4400 м над уровнем моря. В мировой практике нет опыта и, как следствие, отсутствуют научно-практические рекомендации о ведении горных работ в подобных условиях. Добыча руды в Центральном карьере в период с 2002 по 2012 гг. породила ряд геотехнических проблем, связанных, по мнению специалистов КОК и ГА с плохим качеством вмещающих пород, обусловленных интенсивными и сложными структурными деформациями /2/.

Массовые обрушения северо-восточного борта Центрального карьера

Первый обвал в карьере произошёл в августе 2001 г., причём в подробности этого первого обрушения борта карьера был посвящён очень узкий круг ведущих специалистов КОК. Поскольку этот обвал обошёлся без жертв, особого значения ему не придали.

Второе обрушение высокого и крутого северо-восточного борта объёмом свыше 2,7 млн. м³ или 7.6 млн. тонн горной массы (рис.3а,б) произошло 8 июля 2002 г. в 14⁵³, примерно через 1.5 часа после очередного взрыва, проведённого на отметке 4010 м без контурного взрывания, что являлось нарушением проекта буро-взрывных работ (БВР).

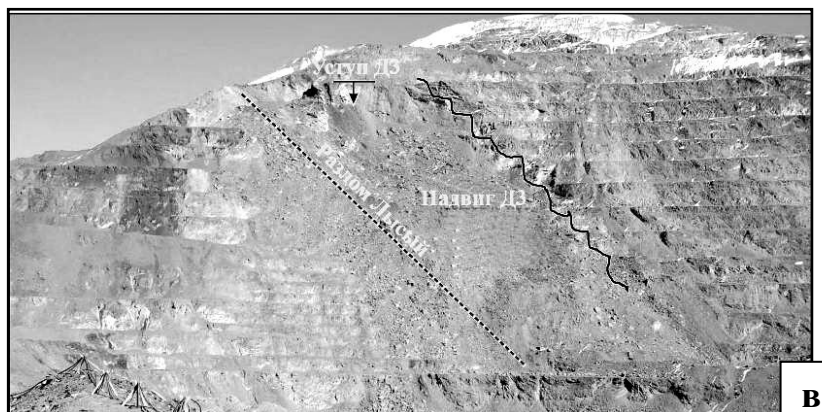
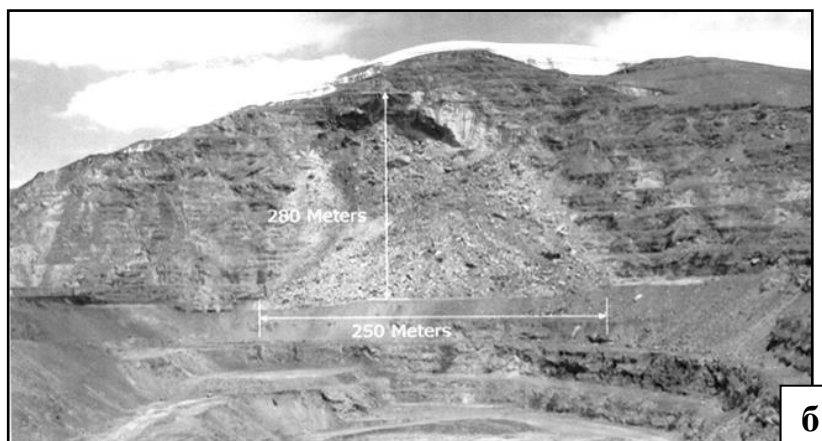
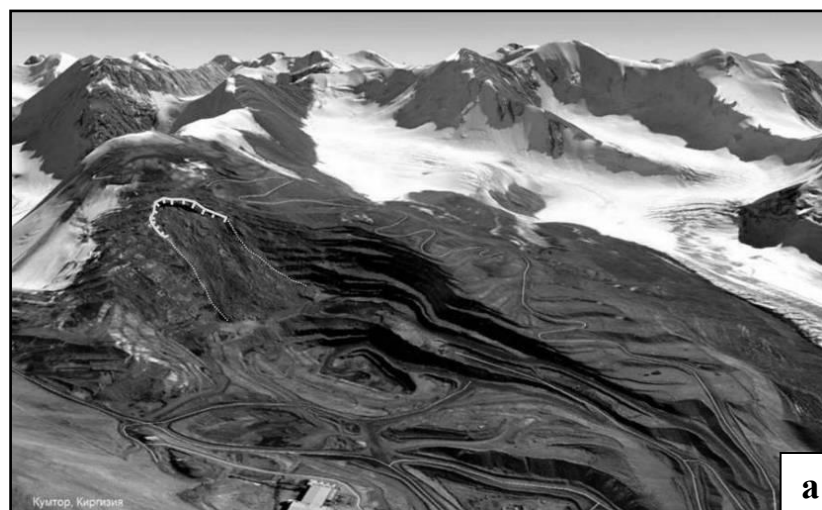


Рис.3. Неустойчивый северо-восточный борт Центрального карьера КОК: а) общий вид ЦК и участка обрушения; б) фото неустойчивого участка после обрушения 8 июля 2002 г.; в) фото участка после обрушения 13 июля 2006 г. и графическое представление механизма борта карьера /1/.

За неделю до обвала были начаты буровые работы на уступе 4018, находившемся непосредственно под стенкой отрыва обрушившейся породы, которые продолжались вплоть до момента обвала.

Участок обрушения находился между уступами 4298 4018 м, то есть высота участка обрушения составила 280 м, ширина у основания - 270 м (рис. 3б), средняя глубина отрыва обрушения от поверхности борта составила 40 м. Как видно на рис. 3б, на вершине участка обрушения обнажилась круто падающая геологическая структура, которая сформировала вершинный уступ обвала. На южной стороне отслоившейся массы образовалась вертикальная трещина, которая затем распространилась к северу. Горизонтальная трещина отрыва в верхней части откоса появилась за миг до того как вся масса рухнула вниз по склону. После обрушения основной массы в некоторых местах образовались выступы породы, которые продолжали обваливаться вплоть до 14 июля 2002 г. Выходов подземных вод (фильтрации, скопление воды, шпир льда) не наблюдалось ни до, ни во время, ни после обвала 8 июля 2002 г.

По мнению очевидцев, целый ряд параметров обрушения выходили за рамки типичных характеристик крупных обвалов, имевших место на карьерах. Так, весьма необычной была сильная раздробленность обрушившейся массы – вплоть до щебня, гравия и песка. По описаниям некоторых очевидцев, весьма необычными явились скорость и почти взрывоподобный характер обрушения. Большинство крупномасштабных обвалов характеризуются более поступательной динамикой и происходят за более продолжительное время. В данном же случае все произошло всего за десяток секунд. За несколько минут до обрушения с верхних уступов был зафиксирован небольшой вывал камней. Имеющаяся информация не содержит сведений о каких-либо особых сейсмических событиях в ближней зоне от рудника и экстремальных гидрометеорологических явлениях до обрушения, которые могли бы сыграть роль своеобразного спускового механизма обвала. В зоне обрушения имелось 5 точек геодезического мониторинга, проводившегося с частотой один раз в неделю. Однако по

утверждению КОК результаты наблюдений не показывали признаков развития разрушительного процесса, то есть не было зарегистрировано типичных для таких обвалов деформаций или предвестников, предшествующих крупномасштабному смещению массива горных пород.

В результате второго обвала погиб один человек, было уничтожено буровое оборудование общей стоимостью свыше 300 тыс. долларов и приостановлена добыча руды из-за того, что богатая золотом штокверковая зона (рис.2) оказалась временно недоступной. Обрушение борта повлекло за собой значительное снижение производственных показателей на длительный период времени. Горные работы на рассматриваемом участке карьера были возобновлены лишь в конце 2005 г.

Несколько различных экспертных комиссий, в их числе Госгортехнадзор, консалтинговая компания «Мотнгомери Уотсон Харза» и другие специалисты-геотехники высказали различные точки зрения по поводу причин массового обрушения северо-восточного борта ЦК. Однако единого мнения в экспертном сообществе не сформировалось до настоящего времени. Следует отметить, что среди различных мнений и гипотез особняком выделялось предположение К.Т. Тажибаева о том, что на этом участке борта ЦК произошёл глубинный горный удар /5/. Основанием для такого заключения послужили свидетельства некоторых очевидцев о скоротечности и взрывоподобном характере разрушения. Кроме того по мнению автора в пользу этой гипотезы свидетельствует скачкообразное, знакопеременное смещение горных пород (рис. 3), зафиксированное системой геодезического мониторинга КОК на бортах ЦК за 5 суток до внезапного массового обрушения, которое было выявлено при ретроспективном анализе данных мониторинга, после обрушения /5/.

Однако при сопоставлении графиков смещения (например, точки 4) с графиком изменения температуры грунта на глубине 50 см (рис.5) хорошо видно, что знакопеременные смещения точки 4 практически повторяют характер изменения температуры грунта, то есть, скорее всего, они вызваны температурными деформациями приповерхностных слоёв борта. Кроме того для обоснованного подтверждения гипотезы горного удара отсутствуют данные о напряжённо-деформированном состоянии массива на рассматриваемом участке месторождения до и после обрушения, в частности, инструментальные данные измерений величин и направлений действующих в массиве напряжений. Наконец, маловероятно возникновение горного удара в приповерхностной части массива горных пород, в одном и том же месте три раза подряд.

Следующее крупномасштабное обрушение произошло 13 июля 2006 г. на этом же участке борта карьера (рис. 3в), опять-таки выше штокерковой зоны, отработка которой была запланирована в 2006-2007 гг. По соображениям безопасности отработка этого участка была вновь отложена и ЗИФ была вынуждена перерабатывать бедные руды, что также сказалось на итоговых производственных показателях 2006-2007 гг.

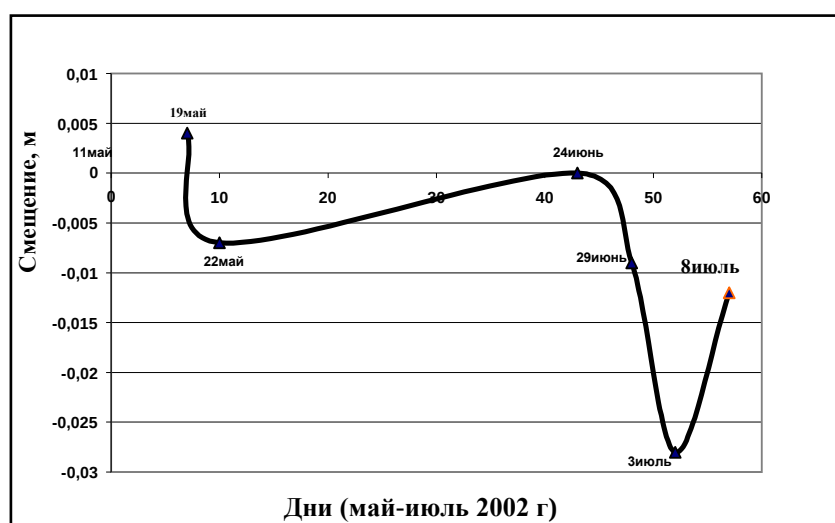


Рис.4. График смещения мониторинговой точки 4, установленной на поверхности уступа 4082 м в восточном направлении /4/.

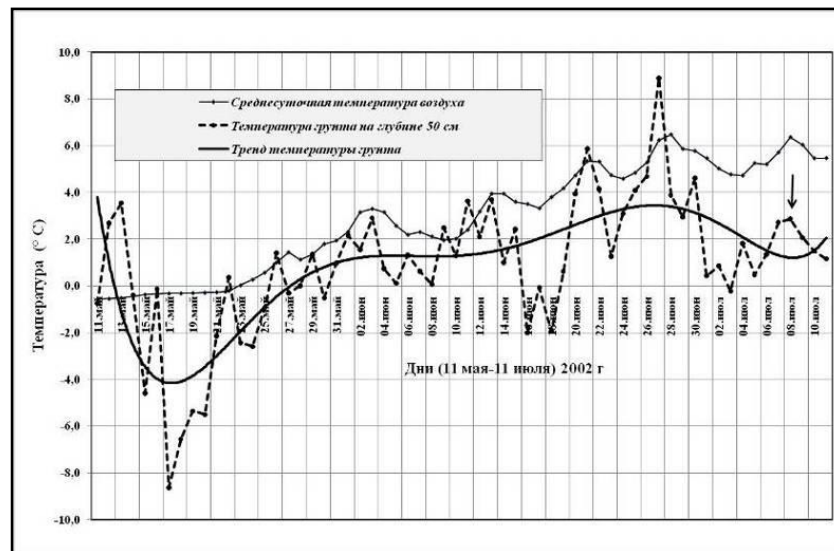


Рис.5. Характер изменения температуры воздуха и грунта на глубине 50 см по данным за период 11 мая -11 июля 2002 г. Стрелкой показан момент обрушения борта -8 июля 2012.

После этого третьего по счёту обвала по заданию КОК, консалтинговая компания SRK Consulting провела геотехнические (бурение) и структурно-геологические исследования на участке обвалов с целью определения механизма обрушения и разработки мер по обеспечению устойчивости борта карьера /2/. При анализе обрушения было признано, что этот обвал был вызван повышением порового давления в массиве за счёт подтока талой воды ледника Лысый, места высачивания которой проявились вблизи вершинного оползневого уступа (рис.3в). Следует иметь в виду, что резкие перепады температур воздуха и грунта, характерные для Кумтора, сопровождаются фазовыми переходами воды в лёд и обратно.

По результатам этих исследований был пересмотрен первоначальный проект ЦК. В целях повышения устойчивости было произведено выполаживание угла наклона борта на этом обвалоопасном участке с первоначальных 36° до 30° /2/. Анализ устойчивости высокого и крутого северо-восточного борта ЦК для углов откоса 37° и 30° , выполненный ГА, дал следующие значения коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) для влагонасыщенных и сухих условий (табл. 1).

Согласно нормативам величина $KЗУ > 1.2$ считается приемлемой. Предыдущие геотехнические исследования и мониторинг бортов, выполненные ГА, показали, что откос борта между уступами 4070 и 3950 м находился в мёрзлом состоянии. В это случае откос может считаться сухим или, по крайней мере ненасыщенным влагой и, следовательно, должен быть устойчивым ($KЗУ > 1.2$). Однако в верхней части склона были и остаются открытые трещины, из которых высачиваются воды (возможно под давлением). Из табл.1 следует, что для водонасыщенных условий склон является неустойчивым даже при угле откоса в $30^\circ/2/$. Для снижения влияния гидравлического давления талых вод на устойчивость борта ГА рекомендовало обустроить разгрузочные скважины и удалить лёд в гребневой части с тем, чтобы свести к минимуму объём талых вод, которые могут просачиваться в карьер.

Таблица 1. Коэффициент запаса устойчивости
северо-восточного борта ЦК /2/

Угол откоса	37°	30°
Влагонасыщенный откос	0.8	1.0
Сухой откос	1.2	1.4

Кроме этого геотехнические исследования и структурно-геологическое картирование, выполненное SRK Consulting, позволили выяснить причину обрушения северо-восточного борта карьера, триггерным механизмом которого стал очередной массовый взрыв. Большой неглубокий клин в зоне тектонического надвига ДЗ сформировал поверхность обрушения вдоль линии пересечения этого надвига с разломом Лысый (рис. 2б). Таким образом, одной из причин обвала (обрушения) по мнению SRK Consulting стало оттаивание многолетне-мёрзлых пород на самом высоком борту карьера и обводнение зоны тектонического нарушения талыми ледниковыми водами /2/. По нашему мнению талые воды ледника в условиях суточного замерзания-

оттаивания оказали расклинивающее воздействие на породы (филлиты) прибортовой зоны по разломам и трещинам. Как известно, при замерзании воды её объём увеличивается на 9.2%. По данным лабораторных исследований давление на стенки трещин в породе при замерзании воды может достигать $1 \cdot 10^7$ Па (10 МПа). Этого вполне достаточно для разрушения некоторых массивных горных пород месторождения, в частности выветрелых филлитов.

Как отмечалось выше, обрушившийся откос до начала разработки был сложен смёрзшимися, сильноизменёнными филлитами-мелонитами, которые крошатся под воздействием горных работ и при оттаивании. Возможно, это обстоятельство и обусловило сильную раздробленность обрушившихся горных масс. Кроме того следует отметить, что не случайно все три обрушения произошли в июле-августе месяцах, т.е. в период наибольшего оттаивания обнажённых пород борта карьера. В дополнение к этому в результате происходящего потепления климата, в частности повышения среднегодовой температуры воздуха, повысилась температура горных пород в прибортовой части массива северо-восточного борта карьера, что, скорее всего, привело к разобщению слоя сезонного промерзания–оттаивания с многолетнемёрзлой толщей пород в глубине массива филлитов. Указанный фактор имеет особое значение для северо-восточного борта в связи с тем, что он обнажился в результате горных работ гораздо раньше других участков борта карьера. По-видимому, стимулирующую роль в обрушении борта сыграли также сезонные деформации прибортовой части откоса за счёт многократного промерзания-оттаивания раздробленных филлитов зоны тектонического нарушения, включая расклинивающее действие талой воды по разломам. Обнажение в верхней части отрыва явно указывало на то, что обрушение произошло по крутопадающему разлому (рис.3б,в).

Л. Бьеррум с коллегами из Норвежского института геотехники /6/, изучив около 300 неустойчивых скальных откосов, установили в качественной форме, что морозное воздействие, химическое выветривание, колебания температуры, прямое воздействие воды и снежного (в нашем случае ледяного) покрова делают невозможными скольконибудь длительную устойчивость крутых склонов в трещиноватых скальных породах, если они не покрыты защитным слоем щебня или крутизна склона превышает угол естественного откоса ($\approx 37^\circ$) несцементированных обломков из того же материала.

По мнению этих авторов, коэффициенты устойчивости скальных откосов не могут быть определены теоретическими расчётами, поскольку нельзя установить относительное значение упомянутых выше факторов /6/. Поэтому в соответствии с этими данными наилучшим методом является сравнение по методу аналогий проектируемых откосов с уже существующими. Однако эмпирический подход не предусматривает рассмотрение механизма устойчивости (или неустойчивости) склонов. Поэтому теоретические исследования (расчёты) желательны, даже, если они не в состоянии обеспечить надёжные прогнозы.

Выше отмечалось, что неоднократные обрушения неустойчивого северо-восточного борта происходили после массовых взрывов, то есть взрывы послужили триггерным механизмом (спусковым крючком) обрушений борта ЦК. На карьере практически ежедневно производят массовые взрывы, при которых общая масса взрывчатого вещества (ВВ) составляет 15-20 тонн. По данным КОК за период 1996-2011 гг. для проведения взрывов на карьерах использовано 280 тыс. тонн ВВ /5/. В результате изучения сейсмического воздействия массовых взрывов на борта Центрального карьера было установлено, что при взрывании донной части карьера вертикальная составляющая скорости сейсмических колебаний в 3 раза и более превышает горизон-

тальные составляющие, а её влияние проявляется в сильном встряхивании массива горных пород верхних уступов, особенно при их оттаивании, приводя к оползням /7/.

По нашему мнению, наряду с выявленными структурно-геологическими и геодинамическими факторами, неоднократным обрушениям северо-восточного борта ЦК способствовали упомянутые выше геокриологические и гидрогеологические особенности Кумторского месторождения. К их числу в условиях потепления климата и техногенного воздействия относятся: разобшение сезонно-талого слоя с многолетнемёрзлыми породами в глубине массива за счёт повышения среднегодовой температуры воздуха и пород в прибортовой части; резкие перепады температур, вызывающие сезонные и суточные деформации за счёт промерзания-оттаивания филлитов и воды в прибортовой части массива горных пород; расклинивающее и смазочное действие талых вод ледника Лысый и снижение прочности пород (филлитов) в результате многократного промерзания-оттаивания. Так, по данным Института мерзлотоведения СО РАН прочность филлитов Кумторского месторождения снижается почти в 2 раза с 80.0 МПа до 41,5 МПа после нескольких циклов замораживания и оттаивания /4/.

Из-за проблем с обеспечением безопасности на северо-восточном борту Центрального карьера в настоящее время добыча руды из зоны штокверка отложена до 2015 г.

Проблема сползания льда и отвалов в Центральный карьер.

Начиная с 2007 г., добычные работы в ЦК рудника затормозились из-за значительной ползучести отвалов и глетчерного льда над зоной SB в пределах карьера, на участке южного борта протяжённостью около 800 м. (рис.6). Разработка зоны SB происходит ниже отработанного участка северной ветви ледника Давыдова, в юго-западной части месторождения Кумтор (рис.7). На сегодняшний день установлено, что деформация борта ЦК на рассматриваемом участке связана

с пригрузкой ледника отвалами, а также с повышением порового давления в зоне контакта подледниковой морены с коренными породами /1,2/.



Рис.6. Фото Центрального карьера 09.08.2012 г. с видом участка сползающих в карьер отвалов и льда. На борту ЦК хорошо видны потоки воды, стекающие на дно ЦК.

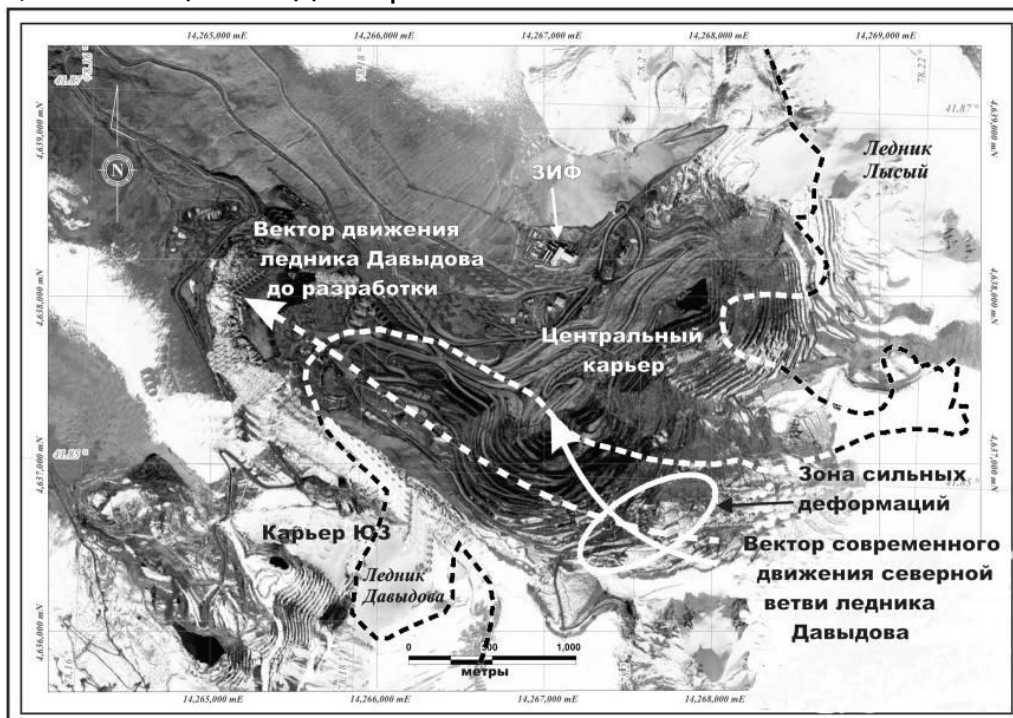


Рис. 7. Космоснимок центрального и юго-западного карьеров КОК 2009 г. с векторами движения ледника Давыдова в сторону ЦК. Жирной пунктирной линией показаны контуры ледников до начала разработки месторождения /8/.

Исторически ситуация с отвалами ЦК складывалась так, что вскрышные и пустые породы складировались в основном на леднике Давыдова. В самом начале вскрышные и отвальные породы укладывались вдоль северного края ледника Давыдова. По замыслу проектировщиков ГА это осуществлялось для того, чтобы вытеснить ледник за границы проектного контура ЦК и одновременно создать своеобразную буферную зону безопасности между движущимся ледником и активной областью горных работ в пределах карьера. Однако достичь этих целей не удалось, что значительно усложнило работу в карьере, в частности заблокировало доступ к зоне богатого оруденения SB на неопределённый период времени. В дальнейшем, до вскрытия зоны SB огромное количество пустой породы из ЦК укладывалось непосредственно на ледник Давыдова. Здесь следует отметить, что ЦК имеет очень большой коэффициент вскрыши (34:1), что обуславливает извлечение и накопление в отвалах гигантского количества пустых пород и льда.

Складирование пустых пород на активном леднике Давыдова, который испытал последнюю подвижку (пульсацию) сравнительно недавно, в 1974-77 гг. прошлого века /9/, привело к постепенному выдавливанию и подпруживанию льда на участке основного потока (рис.7). Подпруживание ледника Давыдова вскрышными породами общей массой свыше 500 млн. тонн в свою очередь вызвало коренное изменение естественного режима глетчера: изменение скоростей и направлений смещения различных его частей; постепенное сужение живого сечения ледникового потока в средней и нижней частях (рис.7); ускорение смещения суженного потока льда, особенно в языковой части /9/ с одновременным её вспучиванием и дефрагментацией. Другим неблагоприятным последствием отсыпки отвалов на леднике стало изменение его гидротермического режима с последовавшим усилением

ем таяния льда, что стало одной из причин непредвиденно большого водопритока в ЦК (рис.6). По этой причине, начиная с 2008 г., КОК проводит большую дорогостоящую программу осушения ЦК. Следует отметить, что отвалы, укладываемые вкрест течения ледника, подпруживая его, препятствуют естественному движению ледника Давыдова и подледниковому стоку и тем самым вызывают повышение давления воды на границе раздела ледника и морены.

Необходимо отметить, что при термобурении и радиолокационном зондировании ледника Давыдова в 1985 г. было установлено наличие моренно-обломочного материала между придонной толщей мореносодержащего льда и подстилающими коренными породами /10/. Авторы исследований 1985 г. указывали на то, что выявленные особенности гидротермического режима ледника, а именно наличие слоя теплого льда и воды на ложе ледника уменьшают прочность льда и трение на нижней границе ледника Давыдова. Это создаёт предпосылки для его механической неустойчивости и может стать причиной ускоренных подвижек ледника, как это имело место в 1974-77 гг. На основании измерений скорости движения в различных точках ледника был сделан вывод о механизме его движения, в виде скольжения ледника единым блоком по ложу.

Таким образом, складирование огромного количества пустых пород на активном леднике стало причиной уникальных геотехнических, гляциологических и гидрологических проблем, и в настоящее время обуславливает задержку добычи некоторых богатых участков зоны SB, в связи с необходимостью удаления отвалов и льда над этой зоной. В настоящее время в связи с проводящимися КОК крупномасштабными работами по удалению льда и повторному перемещению исторических отвалов техногенное воздействие на ледник Давыдова приобрело по выражению гляциолога В.А. Кузьмичёнка «агрессивный характер».

После обширных геотехнических исследований, включая бурение скважин, специалисты консалтинговой компании SRK Consulting (Канада) пришли к выводу, что основным механизмом сильной деформации отвалов и юго-восточного борта карьера является скольжение ледника Давыдова по кровле донной морены. Это скольжение, вызвано сочетанием повышенного напряжения сдвига, развивающегося на контакте ледник-морена от огромного веса отвалов горных пород в верхней части ледника и притока подледниковой талой воды, действующей как смазка /2/.

Специалисты «Centerra Gold Inc» считают, что ползучесть этой части борта карьера будет продолжаться в течение ближайших нескольких лет, несмотря на продолжение разгрузки материала отвалов, и реализацию мероприятий по понижению порового давления и осушению донной морены в этой части Центрального карьера с помощью сети скважин, пробуренных вдоль юго-восточного и юго-западного бортов карьера /1/.

Для управления процессом смещения (сползания) отвалов и льда был скорректирован план горных работ на этом участке карьера на период 2010-14 гг. с учётом необходимости дальнейшего удаления льда и разгрузки существующих отвалов на этом участке Центрального карьера. Этот план задействован с 2010 г. и призван обеспечить большую устойчивость борта карьера, однако необходимость выполнения и разноски борта обуславливает продление сроков завершения добычных работ высокоминерализованной зоны SB. В случае, если вопреки ожиданиям не удастся достичь поставленной цели обеспечения устойчивости борта на участке обнажившегося ледника и подледниковых моренных отложений, отработка зоны SB может стать весьма проблематичной и более дорогостоящей /1/.

Анализ нынешних геотехнических и гидрологических проблем освоения высокогорного месторождения Кумтор, в частности анализ

взаимодействия отвалов и ледника Давыдова позволяет сделать прогнозные оценки возможных последствий подпруживания ледника на будущее с учётом современных тенденций изменения климата.

Ледяные обвалы. В рассматриваемом районе распространены ледники, приуроченные к верхнему ярусу оледенения, крутым склонам и вершинам гор, в том числе так называемые висячие ледники. Естественное состояние ледника Давыдова, его природный режим были нарушены, во-первых, за счёт складирования на нём гигантского количества отвальных пород. Во-вторых, за счёт подсекающей выемки льда и горных пород в контурах Центрального карьера, особенно в его юго-западной части. По эти причинам в настоящее время возникла опасность обрушения верхних ледяных частей из северной и южной областей питания ледника Давыдова. При таком возможном обрушении от края подработанных ледников могут отколоться большие глыбы. Опасность обрушения особенно велика в тёплый период года.

После завершения эксплуатации рудника верхняя подпруженная часть южной ветви ледника Давыдова со временем может вызвать формирование между отвалами и склоновым висячим ледником «техногенного глетчера», который будет смещаться в русло р. Кумтор. Верхняя подпруженная часть северной ветви ледника будет смещаться в виде ледопада по крутому борту в глубокий карьерный водоём, объём которого до начала перелива по расчётам составит около 37 млн. м³. Неизбежный перелив воды из ЦК, может вызвать со временем размыв и обрушение отвалов с формированием «техногенных оползней и селей» в притоках реки Кумтор /8/, как это имело место на одном из отвалов, размещённых в бассейне ручья Сарытор (рис. 8).



Рис. 8. Оползень-оплывина на отвале в русле р. Сарытор, ниже Юго-Западного карьера /5/.

Подвижки ледово-каменной массы отвалов в бассейне ледника Давыдова. В настоящее время чрезвычайно серьезную проблему для дальнейшей деятельности рудника Кумтор представляет угрожающее по масштабам и скорости смещение ледово-каменной массы ледниковых и породных отвалов вниз по долине ручья Чон Сарытор. Указанная ледово-каменная масса сформировалась в нижней части бассейна ледника Давыдова в результате совместного складирования льда и отвальных пород, которые были перенесены в 2011-2012 г. из юго-восточной периферии ЦК для обеспечения безопасного доступа к зоне SB (рис.7).

По существу в результате неразумного отвалообразования сформировался своеобразный «техногенный каменный глетчер», являющийся аналогом природных каменных глетчеров присклонового типа, которые широко распространены и динамически активны в рассматриваемом регионе Тянь-Шаня /11/. Техногенные каменные глетчеры обычно формируются из искусственных отвальных грубообломочных пород, укладываемых вперемешку со льдом или снегом. Сов-

местные ледово-каменные отвалы Кумтора в результате нарушения гидротермического режима ледника Давыдова и многократного переноса отвалов, по-видимому, трансформировались в динамически активный и опасный в экологическом отношении техногенный каменный глетчер грандиозного масштаба. Для каменных глетчеров характерны необычно быстрые подвижки, сопровождаемые оползнями и грязекаменными потоками /11/.

Согласно данным мониторинга за период 2002-2010 гг. язык ледника Давыдова продвинулся вниз по долине на 1.1-1.5 км /9/, перевалив за пределы конечной морены так называемого «малого ледникового периода». Скорость продвижения нижнего конца ледника вниз по долине р. Чон Сарытор иногда превышала 30 м/мес. По данным В.А. Кузьмичёнка очередная пульсация ледника Давыдова в естественных условиях, не нарушенных техногенной нагрузкой, прогнозировалась на 2014-2015 гг /12/. Однако агрессивный прессинг на этот ледник возможно послужил триггерным механизмом подвижек ледово-каменной массы и ускорил очередную пульсацию ледника Давыдова.

По состоянию на начало апреля 2013 г. язык ледово-каменной массы вплотную продвинулся к зданию административно-технического корпуса (АТК) и постепенно разрушает его (рис.8). В АТК помимо офисов различных служб КОК размещены уникальные мастерские по сборке и ремонту крупногабаритной техники (Caterpillar), различные склады. Возник риск разрушения Главной электроподстанции КОК и других объектов инфраструктуры рудника, расположенных ниже. Если не предпринять защитные меры, со временем отвальные породы в результате указанных процессов окажутся непосредственно в русле р. Кумтор, что неизбежно приведёт к систематическому и долговременному загрязнению воды и донных отложений реки минералами и металлами, содержащихся в этих раздробленных породах.



Рис. 8. Надвигание ледово-каменной массы отвалов на здание АТК.

В случае с рудником «Кумтор» загрязнение поверхностных вод и донных отложений происходит в настоящее время и будет усугубляться в будущем за счет таяния огромных объёмов (свыше 100 млн. м³) льда, уложенного внутри отвальных пород, объём которых будет неуклонно нарастать. Очевидно, что талые ледниковые воды, а также атмосферные осадки и воды из карьеров, просачиваясь в поверхностную гидросферу через раздробленные, огромные по объёму массы горных пород в отвалах, неизбежно загрязняются всем спектром примесей и загрязнителей, характерных для руд Кумторского золоторудного месторождения.

Ситуация с происходящей подвижкой ледово-каменной массы отвалов в бассейне ледника Давыдова представляет собой наглядный пример того, как геотехническая проблема может трансформироваться в медленно протекающую геохимическую катастрофу – загрязнение бассейна р. Нарын (Сырдарья)

ЛИТЕРАТУРА

1. Thalenhorst H., Redmond D., Raponi T.R., Vdovin V., Technical Report on the Kumtor Gold Project Kyrgyz Republic for Centerra Gold Inc. December 20th, 2012. – 179 pp.
2. Bruce I., Redmond D., Thalenhorst H. Technical Report on the 2007 Year-End Mineral Reserves and Resources Kumtor Gold Mine Kyrgyz Republic for Centerra Gold Inc. and Cameco Corporation. Toronto, Canada Strathcona Mineral Services Limited. March 28, 2008. Toronto, Canada. – 163 pp.
3. Роджерс Т. Золотодобывающее предприятие «Кумтор»-флагман горной промышленности Кыргызстана // Горный журнал. 2001, №4. – с. 1-8.
4. Горбунов А.П., Ермолин Е.Д., Северский Э.В. и др. Отчёт по научно-исследовательской работ «Мерзлотно-геологические условия и прогноз их изменения при эксплуатации месторождения Кумтор» .Якутск-Алма-Ата. 1988. – 118 с.
5. ОТЧЁТ Государственной комиссии по проверке и изучению соблюдения ЗАО «Кумтор оперейтинг компании» норм и требований по рациональному использованию природных ресурсов, охране окружающей среды, безопасности производственных процессов и социальной защите населения. Бишкек «Учкун», 2013. – с. 258-308.
6. Bjerrum L. and Jorstad F. Stability of Rock Slopes in Norway // Publ. Norges Geotekniska Institut (Oslo). 1968, No. 79. – 1-11 pp.
7. Льюис Э., Макни Д., Кутузов Б.Н. и др. Изучение сейсмического воздействия массовых взрывов на борта карьера рудника «Кумтор» // Горный журнал. 2006, №8.- с.4850
8. Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Айтматов И.Т. Оценка рисков и прогноз развития гляциальных процессов на высокогорном руднике Кумтор (Кыргызстан) // Проблемы снижения природных опасностей и рисков:

Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2012». –Москва: РУДН, 2012, т.2. – с.72-77.

9. Куьмичёнок В.А. Отвалы горной породы на леднике Давыдова (хр. Акшыйрак, Тянь-Шань).// Лёд и снег. 2012, №1 (117). – с.95-104.

10. Василенко Е.В., Громыко А.Н., Дмитриев Д.Н., Мачерет Ю.Я. Строение ледника Давыдова по данным радиозондирования и термобурения // МГИ. 1988. Вып.41.- с. 180-187.

11. Горбунов А.П., Северский Э.В. Скорости и деформации каменных глетчеров. // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 1, с. 69–75.

12. Годовой отчёт «Кумтор оперейтинг компани» по охране окружающей среды, 2009. – с. 74-76.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД И МИНЕРАЛОВ

Тажибаев К.Т., Ташмаматов А.С.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Измельчение горных пород (руд) представляет собой наиболее трудоемкий процесс в технологической цепочке – выемка, переработка руд, получение конечной продукции в виде слитков металлов или других полезных компонентов. Чтобы показать, насколько актуален данный вопрос, и какие имеются возможности для повышения эффективности процесса измельчения, достаточно напомнить, что к.п.д. механического измельчения горных пород и руд (в существующих дробилках и мельницах) составляет менее 10%, то есть более 90% расходуемой энергии теряется в виде диссипации тепловых, звуковых, вибрационных энергий.

В настоящее время широко распространено два метода установления величины коэффициента крепости горных пород, характеризующих их прочность и измельчаемость [1]:

По величине временного сопротивления горной породы одноосному сжатию, т.е.

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{100} \quad (1),$$

где f – коэффициент крепости по М.М. Протоdjаконову;

$\sigma_{сж}$ -прочность при одноосном сжатии.

Методом толчения, т.е. по отношению затраченной на дробление работы к вновь образованной поверхности по эмпирической формуле

$$f_T = \frac{20n}{l} \quad (2),$$

где n –число ударов свободно падающего груза по одной навеске;

l –высота столбика пыли в объемомере, мм;

f_T - коэффициент крепости по толчению.

Определение коэффициента крепости методом толчения основано на принципе пропорциональности работы, затрачиваемой на дробление определенной пробы горной породы, величине вновь образованной при этом поверхности. Данная закономерность была установлена Ритингером еще около ста лет назад. Согласно данному закону при дроблении какого-либо твердого материала, определенной работе, затраченной на разрушение, соответствует пропорциональная ей вновь образованная поверхность получившихся при этом отдельных кусочков материала. Если работу дробления оставлять неизменной, то естественно предположить, что величина вновь образованной поверхности для различных материалов будет меняться обратно пропорционально их крепости. Чем прочнее материал, тем меньше вновь образованная поверхность, и наоборот.

При измельчении руды разрушение происходит в сложном напряженном состоянии, при котором куски подвергаются сжатию, растяжению, сдвигу и изгибу одновременно. Следовательно, показатель прочности, полученный при дроблении методом толчения, должен представлять собой интегральную характеристику прочности, близкую к многим практическим реальным случаям нагружения горных пород (руд), особенно при их разрушении взрывом, при резании и

скалывании резцами врубовых машин и комбайнов, при измельчении в дробилках различных типов, при бурении.

Следует также отметить, то разрушение горных пород, как в дробилках, так и при определении их коэффициента крепости методом толчения, происходит от ударной нагрузки. Поэтому есть основания полагать, что указанный коэффициент в наиболее полной мере отражает измельчаемость горных пород для условия их разрушения дробилками.

Первоначально метод толчения был предложен для определения прочности углей К.И. Сысковым, согласно которому показателем прочности угля служила величина работы свободно падающего груза, отнесенная к вновь образованной поверхности измельчаемых фракций. Впоследствии М.М. Протодяконовым (младшим) была разработана упрощенная методика, значительная простота ее и сравнительно высокая представительность, возможность быстро производить определение коэффициента крепости угля непосредственно в шахте, легкость и конструктивная простота самого прибора – все эти обстоятельства привели к тому, что этот метод к настоящему времени получил широкое распространение /1/.

Данный метод, кроме определения крепости каменного угля, в настоящее время также широко применяется для определения крепости различных горных пород. Метод толчения в том виде, в каком он применяется в настоящее время для определения коэффициента крепости углей и пород заключается в следующем.

Из рудного месторождения в подземных горных выработках или на карьере отбирают такое количество горной породы или руды (обычно по одной пробе из каждого места, в котором нужно определить крепость), чтобы можно было получить 20-25 навесок по 20-50 г каждая (3-5 кусков). Навески должны состоять из кусочков размером в 20-40 мм в поперечнике, которые получают, раскалывая вручную ото-

бранные пробы. Для каждого отдельного определения используется 5 навесок. Полученные этим методом данные, отличаются сравнительно невысоким коэффициентом вариации равным в среднем 10-15%. Поэтому для получения надежной средней величины коэффициента крепости производится по 4-5 определений на одной и той же пробе породы. Для измерения коэффициента крепости этим методом разработан специальный прибор ПОК (прибор для определения крепости), состоящий из трубчатого копра, измерителя мелкой фракции. Каждая отдельная навеска дробится в стакане вертикально трубчатого копра прибора ПОК гирей весом 2,4 кг, сбрасываемой с высоты 600 мм. В случае необходимости, изменение величины работы разрушения при толчении целесообразно производить только варьированием числа ударов падающей гири по навеске.

Обычно производят в зависимости от прочности породы от 3 до 15 ударов. Вес гири и высоту ее сбрасывания следует обязательно оставлять постоянным. Получавшаяся после толчения мелочь высыпается из стакана копра на сито с отверстиями 0,5 мм, и 5 навесок, раздробленных по отдельности в копре прибора, просеивается совместно. Фракция размером менее 0,5 мм (прошедшая через сито с этим размером) собирается и насыпается в стакан объемомера с диаметром 23 мм, при помощи которого определяется высота столбика этой мелкой фракции – l . Величина коэффициента крепости исследуемой горной породы вычисляется по отношению затраченной на дробление работы к вновь образованной поверхности по эмпирической формуле М.М. Продьяконова (2).

По полученным четырем – пяти значениям коэффициента крепости определяется его среднеарифметическая величина. 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. Поэто-

му для значительного упрощения метода после дробления определяется поверхность только мелких фракций (величина высоты столбика пыли в объемомера пропорциональна вновь образованной поверхности полученных при дроблении кусочков) /1/.

В связи с тем, что энергетические характеристики процесса измельчения представляют собой не только интегральные характеристики, но также имеют большое практическое значение, нами, наряду с коэффициентом крепости руды, предложены определить показатель ее удельной энергоемкости измельчения – K . Данный показатель представляет собой отношение суммарной энергии свободно падающего груза измельчителя к объему образованной фракции размером менее 0,5 мм, т.е.

$$K = \frac{nE_i}{V} \quad (3)$$

или

$$K = \frac{n \cdot mgh}{Sl} \quad (4),$$

где n – число ударов свободно падающего груза; E_i - энергия единичного удара; V - объем фракции с размером менее 0,5 мм; m – масса свободно падающего груза; g - ускорение свободного падения; h - высота падения груза; S - площадь сечения объемомера.

Следует отметить, что данный показатель, хотя и отражает удельную объемную энергоемкость измельчения руд и минералов, но в определенной мере также отражает удельную поверхностную энергоемкость измельчения. Как указано выше, вновь образованная при дроблении хрупкого материала поверхность складывается в основном (примерно на 90%) из поверхности мельчайших кусочков величиной менее 0,5 мм. В предлагаемой методике определения показателя энергоемкости

измельчения руд и минералов в расчет берется объем фракции с размером менее 0,5 мм и суммарная энергия удара измельчителя.

Для исследований удельной энергоемкости измельчения горных пород и руд нами были подвергнуты к термической обработке пробы горных пород рудного месторождения Куран-Жайлоо, месторождений строительных материалов Кыртабылгы и карьера Ала-Арча. Результаты исследований показали, что при термической обработке в зависимости от типа руд, горных пород и режимов их термической обработки коэффициент крепости по толчению и удельная объемная энергоемкость измельчения уменьшаются в 2-3 раза по сравнению с соответствующими данными исходного состояния (табл.1). Несмотря на дополнительное энергопотребление при термообработке, за счет эффекта кратного разупрочнения общее суммарное энергопотребление на измельчение крепких руд при использовании способа термообработки снижается существенно.

Таблица 1

Значения удельной энергоемкости измельчения руды и горных пород .

Название и место отбора породы	Коэффициент крепости по толчению		Удельно-объемная энергоемкость измельчения, Дж / см ³	
	Исходное состояние	После термообработ.	Исходное состояние	После термообработ.
Песчаник серый (карьер Ала-Арча)	6,3	4,3	62	41
	5,9	5,1	61	42
	6,1	4,1	64	45
	6,7	3,9	60	47
	5,7	4,5	64	41
	6,14	4,38	62,4	43,6
среднее значение	0,35	0,41	1,6	2,2
сред. квадр. откл. коэфф. вариации, %	5,6	9,4	1,9	5

Гранит (карьер Кыртабылгы)	2,9	1,1	52	19
	3,1	1,2	53	21
	3,2	1,1	54	20
	3,1	1,1	55	22
	3,3	1,1	51	20
	3,12	1,12	53	20,4
среднее значение	0,132	0,04	1,4	1
сред. квадр. откл.	10	3,57	2,6	4,9
коэфф. вариации, %				
Руда колчеданистая кварц хлорит серцито- вая (месторождение Куран- Жайлоо)	12,7	5,1	172	74
	9,8	4,9	168	65
	11,6	5,3	177	76
	15,1	5,9	191	81
	12,3	5,3	177	74
	1,92	0,37	8,7	5,8
среднее значение	15,6	6,98	4,9	7,8
сред. квадр. откл.				
коэфф. вариации, %				

В образцах, отобранных из золоторудного месторождения Куран-Жайлоо, при термической обработке сильно выделяется сера, которая отрицательно влияет на извлечение золота из руды. Среднезернистый гранит из месторождения Кыртабылга после термической обработки рассыпается на зернышки по их границам, как видно из таблицы 1 существенно (2-2,5 раза) разупрочняется. Отсюда можно сделать вывод о том, что разные минералы, имея различный коэффициент теплового расширения, при нагреве обуславливают увеличение раскрываемости зерен за счет ослабления междוזеренных связей по их границам, т.е. полиминеральные руды при тепловом воздействии в большей степени разупрочняются, чем мономинеральные породы.

ВЫВОДЫ:

1. На основании метода определения коэффициента крепости горных пород по толчению предложена методика определения показателя удельной энергоемкости измельчения руд, которая представляет собой отношение суммарной энергии многократно падающего груза измельчителя к объему образованной фракции размером менее 0,5 мм,

отражающий представительное количество вновь образованной поверхности при измельчении.

2. Установлено, что при термической обработке полиминеральных руд, вследствие интенсивного изменения их структурного состояния из-за различия тепловых свойств составляющих минералов, показатель удельной энергоемкости измельчения руды, по сравнению с исходным состоянием, уменьшается в 2-2,5 раза.

3. Установлено, что в разных минералах руды, имеющих различный коэффициент теплового расширения, при нагреве происходит увеличение раскрываемости зерен за счет ослабления междוזеренных связей по их границам, т.е. полиминеральные руды при тепловом воздействии в большей степени разупрочняются, чем мономинеральные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильницкая Е.И. и др. Свойства горных пород и методы их определения.— М.: "Недра", 1969.— 452 с.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО
ОКОНТУРИВАНИЯ ПРИ ВАЛОВОЙ ОТРАБОТКЕ
ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Толобекова Б.Т.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Исследованию подвергается случай с равномерным ежегодным снижением бортового содержания и полной компенсацией запасов, предполагающий равенство сокращаемых в начале отработки запасов прирезаемыми в конце эксплуатации. В этом случае общие отрабатываемые запасы руды останутся теми же, что и в случае с неизменным бортовым содержанием. В начале отработки бортовое содержание принимается больше среднего, примерно к середине срока эксплуатации оно достигает среднего (оптимального при базовом варианте) значения и на завершающей стадии падает до своего минимального уровня. В соответствии с бортовым содержанием изменяется среднее содержание в запасах по годам отработки. Рассмотрим методику определения исходных величин при дифференциации бортового содержания.

В ранних работах наших исследований и других работах [1-3] исследовалась стратегия регулирования содержания в добываемой руде только путем изменения порядка отработки разнокачественных запасов, оконтуренных по одинаковой бортовой кондиции. На практике регулирование содержания в добываемой руде изменяется с помощью порядка отработки запасов лишь в ограниченных (когда позволяет технология отработки) пределах. В остальных случаях, добиться

более высокого содержания, в первые годы эксплуатации месторождения можно только путем применения дифференцированного бортового содержания, т.е. оставляя на первом этапе, наиболее бедные приконтурные запасы с содержанием ниже среднего бортового. Некоторая часть оставленных приконтурных запасов может быть сохранена и добыта на заключительном этапе эксплуатации. Однако, большая их часть все же будет потеряна. Но снижение кондиций во второй половине срока отработки месторождения компенсирует эти потери.

На рисунке 1 показан расчетная схема среднего содержания от C_0 до C_K .

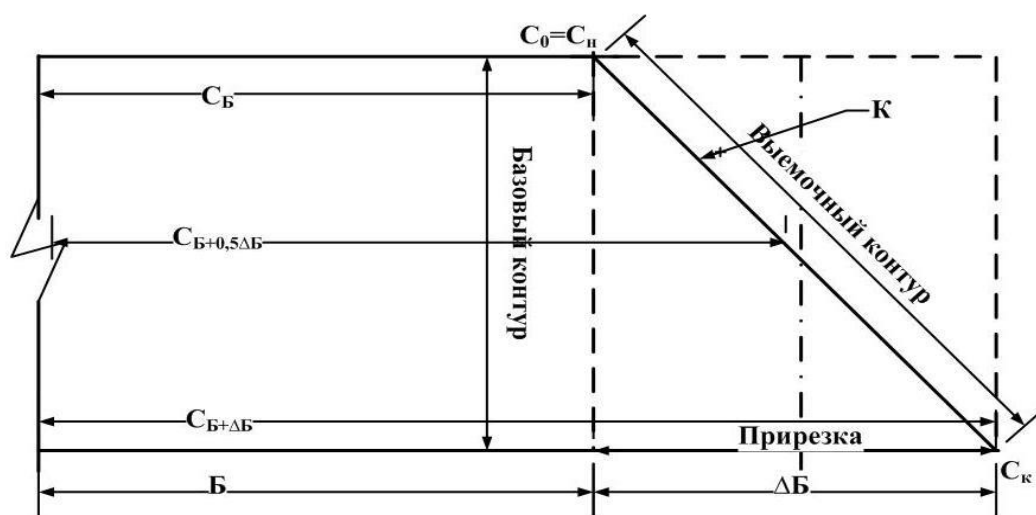


Рис.1. Расчетная схема среднего содержания в запасах (С) при одностороннем дифференцировании кондиций:

$$C = [C_B \cdot B + 2 \cdot C_{B+0,5\Delta B} \cdot (B + 0,5 \cdot \Delta B) + C_{B+\Delta B} \cdot (B + \Delta B)] \div 4(B + 0,5 \cdot \Delta B) \quad (1)$$

ΔB - прирезка запасов при уменьшении бортового содержания от C_0 до C_K ;

C_B , $C_{B+0,5\Delta B}$ и $C_{B+\Delta B}$ – среднее содержание по вариантам оконтуривания при соответствующих бортовых содержаниях;

K – контур отработки при дифференцированном бортовом содержании от C_0 до C_K .

Исследуем, эффективна ли стратегия с применением дифференцированного по годам бортового содержания в оптимизационной постановке.

В качестве примера используется месторождение запасами отработки 10 млн.т. со средним содержанием полезных ископаемых 6 г/т. Воспользуемся обобщенными данными зависимости среднего содержания от изменения количества обрабатываемых запасов месторождений.

Статистическая обработка данных показала, что для месторождений полезных ископаемых $B < 10$ млн. т можно использовать формулу: $(C = 6,94 - 0,21 B + 11,6/B)$, а при $B > 10$ млн. т должны использоваться формула, определяющее среднее содержание в добываемых рудах по $C = 3,5 - 0,07 B + 34/B$. (рис.2).

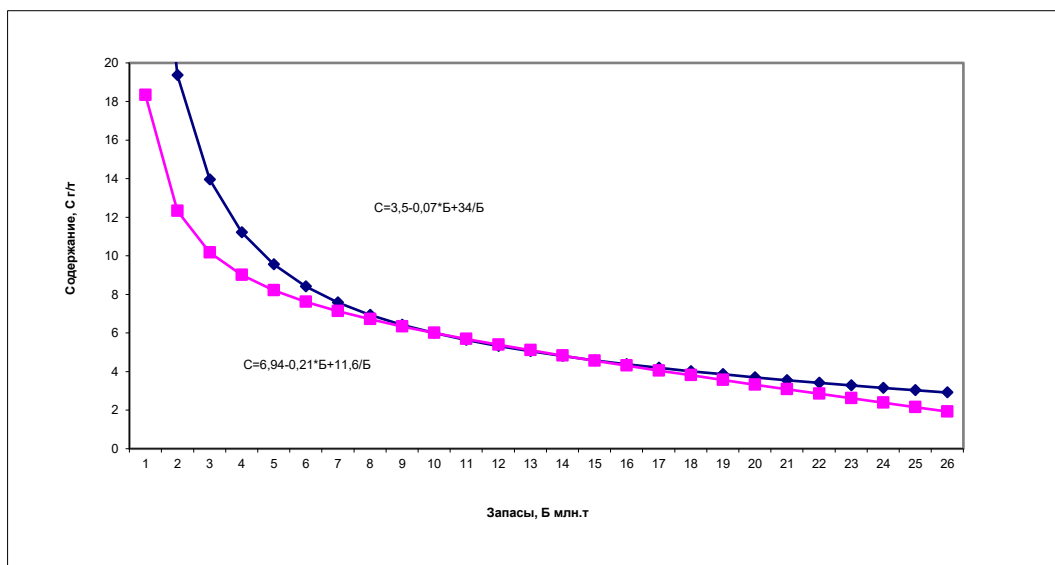


Рис. 2. Зависимость среднего содержания от количества обрабатываемых запасов месторождения.

Допустим, что в целях повышения содержания в первые годы эксплуатации сужен выемочный контур за счет оставления приконтурных запасов в объеме 15% от объема первоначальных.

Для компенсации сокращаемых запасов во второй половине срока эксплуатации в выемку включена законтурная прирезка в таком

объеме (несколько меньше 15%), чтобы среднее содержание в извлекаемых запасах осталось прежним, т.е. 6 г/т.

Рассчитаем среднее содержание $C(Б)$ в отрабатываемых запасах с учетом количества отрабатываемых запасов полезных ископаемых верхней части месторождения по известной формуле:

$$C(Б) = 3,5 - 0,7(1-0,15) + 3,2/(1-0,15) = 6,67 \text{ г/т}$$

Тогда содержание в теряемых приконтурных запасах будет равно:

$$C_{\text{ост}} = \frac{C - C_n \cdot 0,85}{0,15} = \frac{6 - 6,67 \cdot 0,85}{0,15} = 2,2 \text{ г/т.}$$

Аналогично определим содержание в извлекаемых $C_{и.н.}$ и прирезаемых C_n запасах нижней части месторождения, отрабатываемой во второй половине срока эксплуатации.

$$C_{и.н.} = 3,5 - 0,7 \times 1,15 + 3,2/1,15 = 5,48 \text{ г/т;}$$

$$C_n = (5,48 \times 1,15 - 6)/0,15 = 2 \text{ г/т.}$$

Таким образом, содержание в граничных запасах будет плавно снижаться по годам эксплуатации от 2,2 до 2 г/т, оставаясь в среднем на уровне оптимального бортового – 2,1 г/т.

Уточним необходимое количество прирезаемых законтурных запасов q_n для сохранения среднего содержания в запасах $C = 6$ г/т.

$$6(1 - 0,15 \times 0,5 + q_n) = 6,1 - 0,5 \times 2,2 \times 0,15 + 2 q_n, \text{ Отсюда}$$

$$q_n = \frac{(6 - 2,2) \cdot 0,075}{6 - 2} = 0,07125$$

Следовательно, общее количество извлекаемых запасов при снижающихся кондициях составляет: $1 - 0,075 + 0,07125 = 0,99625$ или (99,6%) от первоначальных или 9962,500 т руды.

Благодаря дифференциации кондиций возрастает содержание и в первоначально отрабатываемых богатых запасах C_n . Оно составит (при исходном содержании на богатом участке с средним содержанием полезного компонента 8 г/т): $C_n^* = (8 - 0,15 \times 2,2) / 0,85 = 9,02 \text{ г/т.}$

Для оценки целесообразности отработки со снижающимися годами условиями выполним динамическую оптимизационную оценку месторождения.

Для рудных месторождений предлагается метод целенаправленной системно-оптимизационной разработки рудных месторождений, теоретические основы которого изложены в работах [13,27-30,45] ключевая идея метода заключается в направленности на раскрытие благоприятных индивидуальных характеристик месторождения и полное использование его природно-экономического потенциала. Важным условием достижения данной цели является системная (с учетом прямых и обратных связей) оптимизация базовых параметров и решений, прежде всего на концептуальном уровне проектирования, когда решения еще не зафиксированы. Структурообразующей основной оптимизационной модели служат признанные в мировой практике критерии чистой текущей стоимости (NPV) и внутренней нормы прибыли (IRR).

Исследуем достаточно распространенный случай с линейным снижением содержания металла в добываемой руде по годам эксплуатации месторождения.

Качество извлекаемого металла из 1т ежегодно добываемой руды в этом случае можно выразить следующей формулой:

$$M_t = M_n - \Delta M (t - 0,5), \quad \text{где } M = \alpha \xi \quad (2)$$

где M_t - выход металла из 1т руды в t -м году переработки;

M_n - выход металла из 1т руды в начале отработки месторождения;

ΔM – среднегодовой темп уменьшения выхода металла;

α – содержание металла в перерабатываемой руде;

ξ – коэффициент извлечения металла при переработке.

Средний выход металла за первый год эксплуатации $\frac{1}{2}$ годового интервала меньше начального выхода. Поэтому в формуле (2) уменьшено на 0,5 года.

С учетом (2) дисконтированную прибыль при первоочередной отработке наиболее богатых запасов можно представить в виде модели:

$$NPV = \frac{1}{(1+E)^{T_c}} \sum_{t=1}^T \left[\frac{C[M_H - \Delta M(t-0,5)]}{(1+E)^t} - \frac{z \cdot A}{(1+E)^t} \right] - \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+E)^{t-1}}, \quad (3)$$

где z – эксплуатационные затраты;

K_t – годовые капитальные затраты;

C – цена 1т готовой продукции (металла);

E – норматив дисконтирования;

T_c – срок строительства предприятия, включая его освоения;

T – продолжительность отработки запасов, включая продолжительность строительства и эксплуатации месторождения;

A – годовая производительность предприятия по руде.

Для удобства анализа представим двумерную оптимизационную модель в следующем виде:

$$R(A) = D_{од}(A) - \Delta D_d(A) - S_d(A) - K_d(A) =$$

$$C A M_0 \alpha_1 \beta_2 - C A \Delta M(A) \alpha_1 \gamma_2 - z(A) \alpha_1 \beta_2 - K(A) T_c^{-1} \beta_1,$$

$$\text{где } \alpha_1 = (1+E)^{-T_c}, \quad \alpha_2 = (1+E)^{-T}, \quad \beta_1 = \frac{(1+E)^{T_c} - 1}{E(1+E)^{T_c}}, \quad \beta_2 = \frac{(1+E)^T - 1}{E(1+E)^T}$$

$$\Psi = 1 + E; \quad \gamma_2 = \gamma_1 + 0,5\beta_2, \quad \gamma_1 = [(\alpha_2^{-1} - 1) \cdot \Psi - T \cdot E] \cdot E^{-2} \cdot \alpha_2,$$

$$\Delta M(A) = \frac{2}{T} (M_0 - M), \quad M_0 = C_n K_k \xi; \quad T = B/A, \quad T_c = T_1 + T_2 A,$$

$$K = K_1 + K_2 A, \quad z = z_1 + z_2 A, \quad M = C K_k \xi.$$

Выполним расчеты при новых условиях (таблица 1).

Оценим вариант без компенсации оставляемой на первом этапе руды, т.е. без прирезки законтурных запасов.

Таблица 1.

Расчет чистой дисконтированной прибыли при опережающей
отработке богатых запасов со снижающимися кондициями

Показатели	Производственная мощность А, млн.т./год			
	0,5	1,0	1,5	2,0
Запасы Б, млн.т.	9,9625	9,9625	9,9625	9,9625
Срок отработки Т, лет	19,925	9,9625	6,6417	4,9812
Среднее содерж. С, г/т	6,0	6,0	6,0	6,0
Нач-ное содерж. С ₀ , г/т	9,02	9,02	9,02	9,02
Срок строит. Т _с , лет	2,35	2,80	3,25	3,70
Коэфф. β_1	2,0	2,337	2,65	2,966
Коэфф. α_1	0,8001	0,7663	0,7342	0,7035
Капит. влож. К, млн.д.	76,5	114	151,5	189
При- вед.капвлож.К _д ,млн.д.	65,1	95,5	124,0	151,5
Экспл.затр.З, млн.д./год	13	20	27	34
Коэффициент β_2	8,503	6,286	4,6842	3,7793
При- вед.экспл.затр.С _д ,млн.д	88,44	93,3	92,86	90,40
Коэффициент α_2	0,1497	0,869	0,5315	0,0,6221
Коэффициент α_2^{-1}	6,680	2,5846	1,8815	1,6075
Коэффициент γ_1	63,105	28,894	16,236	10,584
Коэффициент γ_2	59,453	25,830	13,394	8,694
Вых.мет.в начале М ₀ , г/т	7,216	7,216	7,216	7,216
Средн.вых.мет. М, г/т	4,8	4,8	4,8	4,8
Приращ.металл ΔM , г/т	0,2397	0,4794	0,7190	0,9587
Прир.диск.дох. ΔD_d , млн.д.	53,447	88,950	103,24	109,94
Диск.дох.в нач отр.Д _{од}	230,12	317,71	348,95	359,73
Диск.дох. Д _д , млн.долл.	176,67	228,75	245,75	249,79
Сумма д.затрат Z _д , млн.д.	153,54	189,08	216,86	241,90
Чист.диск.приб. R, млн.д.	23,13	39,67	28,5	7,89

При этом варианте извлекаемые запасы уменьшаются до 1-0,075=0,925 от первоначальных отрабатываемых руд и составят 9,25 млн. т.

Одновременно возрастает и среднее содержание в извлекаемых запасах месторождения $C=(6-0,075 \times 2,2)/0,925=6,308$ г/т.

Начальное содержание оставим прежним $C_n=9,02$ г/т. Произведем оптимизационную оценку этой схемы. Результаты оптимизации сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

Расчет чистой дисконтированной прибыли при односторонней дифференциации кондиций без компенсации оставляемых приконтурных запасов

Показатели	Годовая производительность А, млн. т /год			
	0,5	1,0	1,5	2,0
Запасы Б, млн.т.	9,25	9,25	9,25	9,25
Срок отработки Т, лет	18,5	9,25	6,167	4,625
Среднее содержание С, г/т	6,308	6,308	6,308	6,308
Начальное содержание C_n , г/т	9,02	9,02	9,02	9,02
Срок строительства T_c , лет	2,35	2,80	3,25	3,70
Коэффициент β_1	2,0	2,337	2,658	2,966
Коэффициент α_1	0,8001	0,7663	0,7342	0,7035
Капитальные влож. К, млн.д.	76,5	114	151,5	189
Диск. кап. вложен. K_d , млн.д.	65,1	95,15	123,91	151,5
Эксплуат. затраты З, млн.д/г.	13	20	27	34
Коэффициент β_2	8,283	5,855	4,441	3,558
Диск. затраты S_d , млн.долл.	86,154	89,734	88,036	85,104
Коэффициент α_2	0,1716	0,4145	0,5559	0,6442
Коэффициент α_2^{-1}	5,8275	2,413	1,799	1,552
Коэффициент γ_1	59,378	26,081	14,576	9,322
Коэффициент γ_2	55,136	23,154	12,355	7,543
Нач. вых. металла M_0 , г/т	7,216	7,216	7,216	7,216
Средн. выход металла М, г/т	5,046	5,046	5,046	5,046
Прирост. металла ΔM , г/т	0,2346	0,4691	0,7026	0,9382
Диск. прир. доход ΔD_d , млн.д.	48,152	78,03	89,625	93,348
Диск. доход от нач. $D_{од}$, млн.д.	224,166	330,524	330,868	338,663
Сумма диск. затрат Z_d , млн.д.	151,254	184,884	211,946	236,601
NPV, млн. долл.	24,40	40,61	29,30	8,71

Из таблицы видим, что при $A=1$ млн. т./год дисконтированная прибыль выросла против предшествующего варианта (табл.1), что говорит о преимуществе данной схемы. Этим расчетом мы фактически

подтвердили нецелесообразность отработки даже в последние годы забалансовых запасов (с содержанием ниже среднего бортового). В то время, следует отметить, что оставление на начальном этапе части самых бедных балансовых запасов ради повышения среднего содержания в добываемой руде экономически целесообразно.

Применение дифференцированных кондиций возможно при различных вариантах с сохранением среднего содержания в запасах (рассмотренный выше случай), сохранением количества обрабатываемых запасов руд или металла и без указанных ограничений. Выбор наилучшего варианта осуществляется путем оптимизации.

Следует отметить, что преимущество динамической оптимизации с опережающей отработкой богатых запасов здесь неоспорима.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толобекова Б.Т. Экономическая оптимизация полноты извлечения разнокачественных запасов и использования инвестиций. В сб. Материалы Ш- научной конференции КР(С)У, 1996.
2. Толобекова Б.Т. Обоснование организационного порядка отработки разнокачественных запасов месторождений. Известия ВУЗов КГМИ. Бишкек, 2002
3. Толобекова Б.Т. Автореферат диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук на тему: «Горно-экономическая оценка нагорных рудных месторождений при их проектировании», Бишкек, 2007.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ВЗРЫВО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ КАМБАРАТИНСКОЙ ГЭС-2

Торгоев И.А., Айдаралиев Б., Оморев Б., Торгоев А.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Введение. Одним из ключевых этапов строительства Камбаратинской ГЭС-2 (КГЭС-2) стало возведение плотины, которая перекрыла русло р. Нарын и направила потоки воды через гидроагрегаты станции для выработки электроэнергии. Причём для сооружения данной плотины специалистами Российского ООО «Гидроспецпроект» был применён не общепринятый, а взрыво-набросной метод строительства: с помощью крупномасштабного массового взрыва (КМВ) 2860 тонн взрывчатого вещества был произведён сброс горного массива правого борта в каньонообразное русло реки /1/.

Предполагалось, что в результате направленного массового взрыва сформируется искусственный оползень типа «каменной лавины» и в русле р. Нарын образуется скальный навал объёмом около 3 млн. м³ и высотой до 60 м. Однако из-за того, что при КМВ основная часть энергии взрыва прорвалась через зону дробления тектонического разлома «Южный» значительный объём взорванных пород был перемещен в сай с западной стороны этого разлома и взрываемого склона. По этой причине существенно уменьшился объём навала в створе плотины (рис.1), что потребовало досыпки плотины до проектной отметки гребня 961 м обычным способом. Из-за того, что при КМВ не были достигнуты проектные размеры плотины, не было обеспечено и динамическое уплотнение горных пород и грунта в теле получившегося нава-

ла /2-3/. В результате уже через 12 часов после перекрытия русла на низовом откосе плотины были зафиксированы первые выходы фильтрационного потока из водохранилища. Спустя 18 часов после взрыва расход фильтрационного потока достиг $8-9 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 1) при установившемся перепаде уровней воды между верхним и нижним бьефами свыше 35 м.

В настоящее время взрыво-набросная плотина КГЭС-2 (рис.2) представляет собой неоднородную скальную горную массу из песчаников, алевролитов и аргиллитов Q_{2-3} , раздробленную и перемещенную с помощью взрыва в каньон р. Нарын (рис.1). Основные характеристики плотины следующие: класс капитальности – II; высота – 60 м; отметка гребня - 961,0 м; длина по гребню – 230,5 м; в основании - 444,5 м; заложение верхового откоса 1:2,5; низового – 1:2,5; максимальный напор на плотину – 51,8 м, минимальный - 48,3 м /2/.

Учитывая уникальность плотины КГЭС-2, возведённой с помощью крупномасштабного взрыва, был организован мониторинг за состоянием плотины. В настоящее время специалистами ПИИ «Гидропроект» ведётся геодезический контроль деформаций (осадок) плотины по поверхностным маркам и регулярные наблюдения за фильтрационным режимом в теле и основании плотины с помощью наблюдательных скважин, пробуренных до подошвы зоны взаимодействия основания и плотины КГЭС-2.



Рис. 1. Проектный (пунктирная линия) и фактический (тёмная линия) контур плотины КГЭС-2 после перекрытия р. Нарын с помощью КМВ

Для регулярного слежения за режимом фильтрации в теле, основании и бортовых примыканиях плотины КГЭС-2 в июле 2012 г. специалистами НИЦ «Геоприбор» были начаты геофизические исследования и мониторинг, как самой плотины, так и прилегающих массивов горных пород. Эти исследования стали начальными этапами режимного мониторинга для оценки долговременной устойчивости основных сооружений КГЭС-2.

Необходимость подобного мониторинга обусловлена не только описанными выше неудовлетворительными результатами взрыво-набросного способа возведения плотины, но и особенностями сейсмо-тектонических условий на участке её створа, характеризующимися наличием в дне реки тектонического разлома «Южный», по которому фиксируются современные движения с амплитудой 3,5 м /1/. Следует также иметь в виду, что район основных сооружений КГЭС-2 характеризуется повышенной сейсмической активностью. Согласно, действующей карты Сейсмического районирования территории Кыргызской Республики, утверждённой в апреле 2012 г., район Камбаратинского гидроузла относится к 9-бальной зоне землетрясений с магнитудой $M=7,5$. Так, эпицентр Суусамырского землетрясения 1992 г. ($M=7,3$) располагался на расстоянии около 60 км к север-северо-востоку от плотины КГЭС-2 /3/.

Для оценки и мониторинга состояния плотины КГЭС-2 использовались следующие геофизические методы: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) в варианте электрического профилирования по методу сопротивлений (рис.2) и исследования сейсмических характеристик грунтов плотины по методу Накамуры. Геодезическая съёмка пунктов ВЭЗ и микросейсмических измерений осуществлялась с помощью дифференциальной системы DGPS ProMark-3. Для контроля фильтрационных процессов в теле плотины в 2010 г. были обустроены наблюдательные скважины (рис.2).

Результаты электропрофилирования и комплексного мониторинга.

На рис. 2 представлена карта-схема расположения профилей ВЭЗ и наблюдательных скважин на исследуемом участке плотины и её бортовых примыканий. Результаты электрического профилирования по всем профилям, показанным на рис.2, демонстрируются в виде двумерных геоэлектрических разрезов (геоэлектротомограмм), представленных на рис. 3-4 совместно с геологическими разрезами плотины и графическими результатами колебаний уровня воды в верхнем бьефе (УВБ) и уровнями воды в наблюдательных скважинах (УВС).

Как видно на рисунках 3-4, геоэлектротомограммы по всем профилям характеризуется существенной мозаичностью (неоднородностью) распределения значений удельных электрических сопротивлений (УЭС). На геоэлектрических разрезах видно, что значения УЭС пород и грунтов, составляющих тело плотины, изменяются в широком интервале

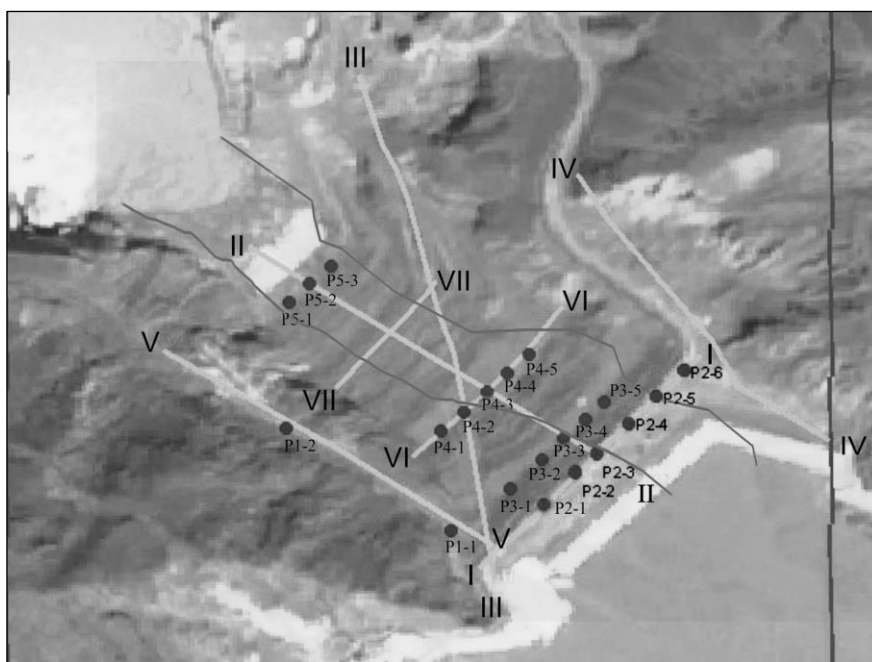


Рис. 2. Расположение профилей ВЭЗ (светлые линии) и наблюдательных скважин (е кружки) на космоснимке плотины КГЭС-2. Тонкими тёмными линиями показаны контуры русла р. Нарын до взрыва.

значений от единиц до десятков тысяч Ом·м. Столь значительный диапазон изменения УЭС, очевидно, связан с неоднородностью тела

плотины по своим геотехническим и фильтрационным свойствам. Низкие значения УЭС в диапазоне 10-100 Ом·м соответствуют сильно водонасыщенным породам и грунтам различного состава, обладающим высокой электропроводностью. Неводонасыщенные породы характеризуются повышенными значениями УЭС свыше 1000 Ом·м.

Геоэлектрический разрез I-I по гребню плотины. На разрезе I-I (рис.3б,в) в его верхней части между 60 и 90 погонными метрами (ПМ) профиля в интервале высотных отметок 935-945 м отчётливо выделяются две зоны шириной 8-9 м с наименьшими значениями УЭС. Эти зоны повышенной проводимости (низкого сопротивления), через которые пробурены наблюдательные скважины 2.1 и 2.2, интерпретируются нами как зоны повышенного увлажнения типа фильтрационных потоков. Наиболее чётко эти увлажнённые зоны выделяются на верхней томограмме рис. 3б, полученной в период максимального наполнения водохранилища (УВБ), то есть наибольшего напора в июле 2012 г. Из разреза I-I на рис 3.б видно, что эти водонасыщенные зоны находятся в верхней части плотины, отсыпанной поверх навала скальными породами (камнем) из воронки взрыва, то есть целиком располагаются в отсыпанной традиционным способом верхней части плотины. Повышенная влагонасыщенность этих зон скорее всего объясняется повышенной водопроницаемостью насыпи из камня (рис.3а), сформированной после КМВ. На продольном профиле II-II (рис.4б) эта зона увлажнения в виде фильтрационного потока отчётливо прослеживается между скважинами 2.3 и 4.3 при максимальном уровне воды в водохранилище КГЭС-2.

Следует отметить, что описываемые зоны увлажнения в районе скважин 2.1 и 2.2 пространственно совпадают с зоной просадок и трещин, возникших на гребне плотины в ноябре 2011 г. Необходимо также обратить внимание на то, что в створе этих зон на гребне плотины пока отсутствуют буронабивные скважины цементационной завесы, имею-

щиеся на фланговых участках гребня. По этой причине при максимальном уровне воды в верхнем бьефе в центральной части гребня имеет место просачивание воды в тело плотины в обход буронабивных скважин.

В верхней части плотины, в зоне её примыкания к левому борту долины (рис. 3б,в) просматривается ещё одна относительно небольшая зона увлажнения, в районе пересечения профиля I-I с профилем III-III на отметке ниже 930 м. Скорее всего эта зона увлажнения связана с обходной фильтрацией по левобережному примыканию плотины. В пользу этого утверждения свидетельствует, во-первых, синхронный характер изменения УБВ и уровня воды в ближайшей к этой зоне скважине №1.1. Во-вторых, факт наличия обходной фильтрации по левому борту долины подтверждается результатами электрозондирования по профилю V-V.

На поперечном геоэлектрическом разрезе I-I при максимальном УБВ (рис.3б) на отметках ниже 900 м в теле плотины выделяется ещё одна зона сильного водонасыщения, приуроченная к аллювиальным отложениям донной части каньона р. Нарын, то есть связанная с фильтрационным потоком, существующим в основании плотины. Выше отмечалось, что мощность аллювиальных отложений в основании плотины, представленных галечником, достигает 10-12 м, а коэффициент фильтрации $K_f=0,1$ см/с (100 м/сут).

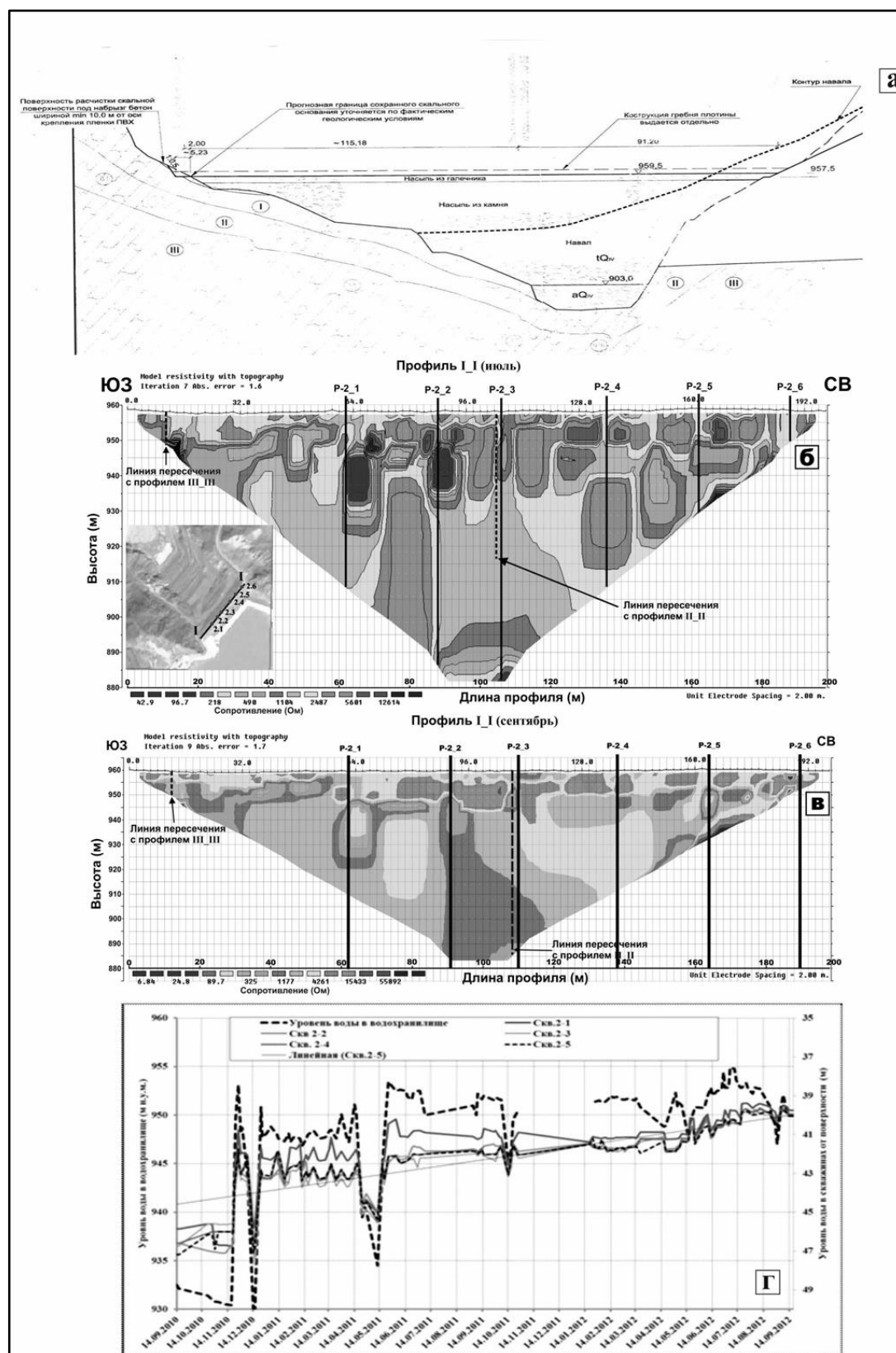


Рис.3. а) Геологический разрез и геотомограммы сопротивлений по профилю I-I в створе скважин 2.1-2.6 по состоянию в начале июля 2012 г.(б) и в конце сентября 2012 г.(в). На врезке томограммы бб показано положение профиля и скважин на гребне плотины. г) результаты наблюдений УВБ и УВС.

На рис. 3г в графическом виде представлены результаты наблюдений за изменениями во времени УВБ и УВС в скважинах 2.1-2.5, пробуренных на гребне плотины. Эти скважины расположены наиболее близко к верхнему бьефу. По этой причине уровень воды в скважинах этого пьезометрического створа тесно связан с изменениями УВБ и кроме того результаты наблюдений в скважинах 2.1-2.5 должны в первую очередь отражать эффект естественной кольматации по сравнению со скважинами нижних пьезометрических створов. При сопоставительном анализе изменения УВБ и УВС видно, что с начала режимных наблюдений 14 сентября 2010 г. и до начала 2012г. уровень воды во всех наблюдательных скважинах изменялся практически синхронно с уровнем воды в водохранилище КГЭС-2. В особенности, эта синхронность отчётливо проявляется в периоды резкой сработки и быстрого наполнения водохранилища с большими перепадами УВБ в интервале отметок 930-950 м, имевших место в следующие календарные сроки: 18 ноября-23 декабря 2010 г.; 14 апреля-24 мая 2011г.; 4-26 октября 2011 г. С начала 2012 г. отмечается нарушение синхронности изменений УВБ и УВС практически по всем наблюдательным скважинам этого створа вплоть до противофазного характера их изменения, особенно в периоды быстрого сезонного наполнения и сработки водохранилища КГЭС-2 в диапазоне отметок 950,0-955,0 м. При сопоставлении графиков изменения УВБ и УВС во времени видно то, что уровень воды в скважинах с начала 2012 г. уже слабее реагирует на изменение уровня воды в водохранилище. Это может свидетельствовать о начавшемся в теле плотины процессе постепенной кольматации, то есть естественного заполнения пор и пустот в теле плотины взвешенными и влекомыми наносами р. Нарын. При сравнении значений УВС в скважинах пьезометрического створа, который совпадает с геоэлектрическим разрезом I-I, видно, что наиболее высокий уровень воды наблюдается в скважине 2.1. Это объясня-

ется, во-первых тем, что скважина №2.1 пробурена через наиболее увлажнённую зону, приуроченную к 60-у погонному метру профиля I-I (рис.3 б,в). Во-вторых, к скважине 2.1 примыкает зона увлажнения, связанная с обходной фильтрацией левобережного примыкания плотины. Эта зона обходной фильтрации также отчётливо проявляется на створе скважин 3.1-3.5 в виде также повышенного УПВ в скважине 3.1, наиболее близко расположенной к левобережному примыканию плотины. Как видно на рис. 3г в долговременном аспекте отмечается устойчивая тенденция постепенного подъёма воды в пьезометрических скважинах на гребне плотины (створ скважин 2.1-2.5) скорее всего за счёт постепенной кольматации ядра плотины.

Геоэлектрический разрез II-II. При сопоставлении геоэлектротомограмм, полученных по продольной оси плотины II-II (рис 4б,в), с геологическим разрезом по этой же оси (рис.4а) хорошо видно, что зона увлажнения, проявляющаяся на геоэлектрическом разрезе I-I в виде двух фильтрационных потоков (рис.3б) ниже отметки 940 м, связана с просачиванием воды из верхнего бьефа. На рис. 4а наиболее вероятный путь просачивания воды показан стрелками. В сторону низового откоса и бермы на

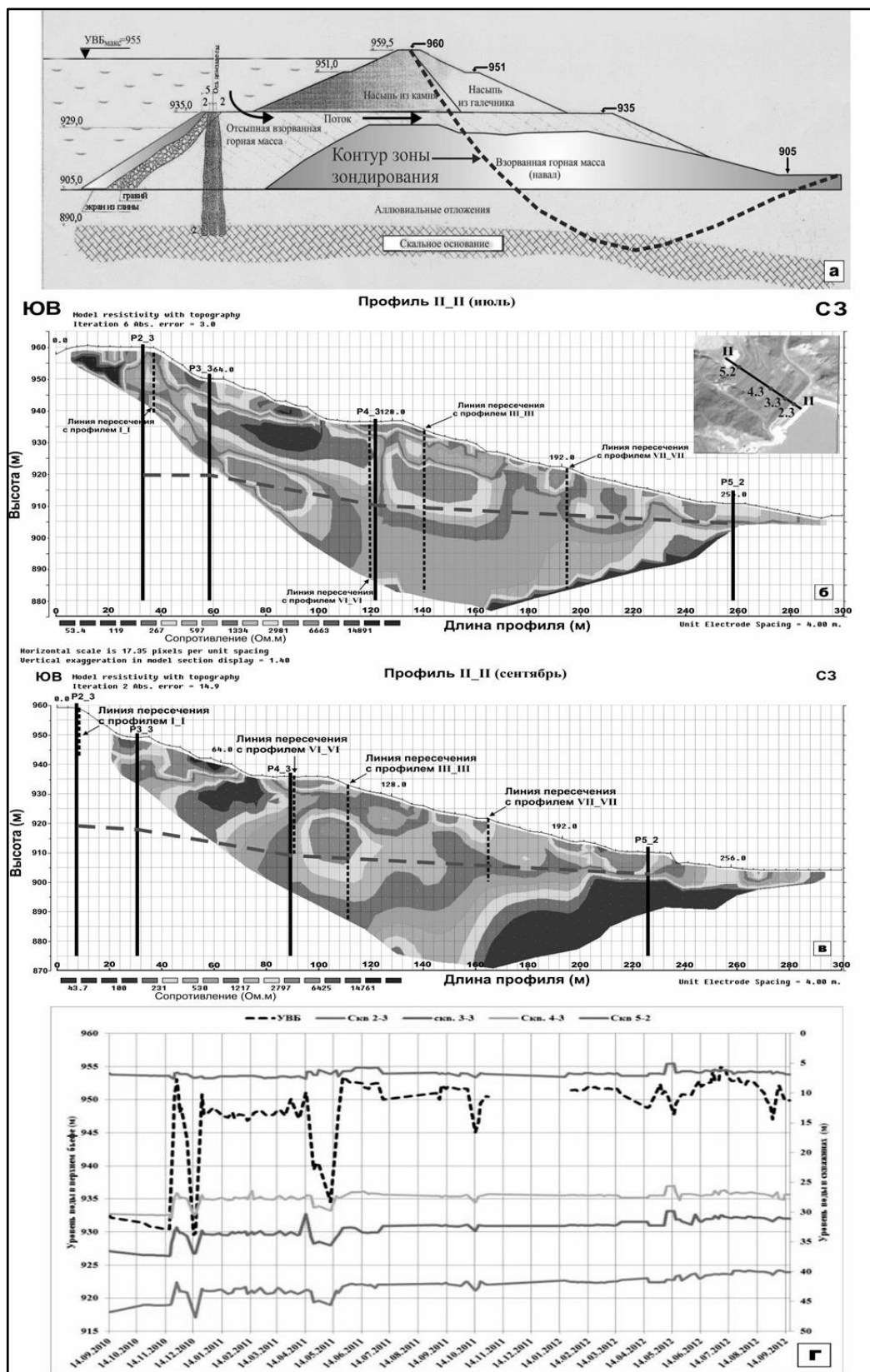


Рис.4. . Геологический разрез и геотомограммы сопротивлений по продольному профилю II-II в створе скважин 2.3-5.2 по состоянию в начале июля 2012 г.(б) и в конце сентября 2012 г.(в); г) результаты наблюдений УВБ и УВС. Серой пунктирной линией показано гипсо-

метрическое положение уровня воды в наблюдательных скважинах профиля в моменты проведения электрозондирования отметке 935 м вода просачивается через насыпь из камня поверх навала, сформированного при КМВ. При максимальном УВБ контур зоны увлажнения (рис 4б) вдоль оси плотины располагается между высотными отметками 945 и 920 м и между 50-120 ПМ профиля, то есть её протяжённость составляет свыше 70 м. В меженный период продольный размер зоны увлажнения, её протяжённость сокращается до 50 м (рис. 4в - интервал профиля 40-90 ПМ).

На обоих электротомограммах (рис. 4б,в) хорошо видно, что рассматриваемая зона увлажнения как бы имеет выход на поверхность низового откоса плотины на отметке 935 м, на второй сверху берме (полке), хотя явных внешних признаков высачивания воды здесь во время проведения режимного электрозондирования в июле и сентябре обнаружено не было. Вблизи этой зоны обустроена наблюдательная скважина 4.3. Результаты наблюдений по этой скважине (рис. 4г) свидетельствуют о том, что уровень воды в этой скважине на протяжении всего периода наблюдений остаётся постоянным, испытывая небольшие скачки синхронные с резкими перепадами УВБ в моменты резкой сработки водохранилища. Аналогичный характер изменения УВС имеет место и в скважине 5.2 профиля II-II, пробуренной у подошвы внешнего откоса плотины. Следует отметить, что все наблюдательные скважины (2.3, 3.3, 4.3 и 5.2) пьезометрического створа II-II оказались в пределах старого русла р. Нарын (рис 2). В скважине 3.3 и особенно в скважине 2.3 этого профиля прослеживается тенденция постепенного повышения уровня воды (рис 4г), что отчасти может быть связано с постепенной кольматацией ядра навала, сформированного при взрыве.

На геоэлектрических разрезах профилей II-II (рис.4б,в) обращает на себя внимание сильно увлажнённая зона у подошвы плотины со стороны нижнего бьефа. На рис. 4в видно, что эта зона распространяется внутрь тела плотины на значительное расстояние (до 160 ПМ) от уре-

за воды в нижнем бьефе. По-видимому, столь сильное значительное по протяжённости увлажнение низового откоса у подошвы плотины обусловлено совместным действием фильтрационных потоков, распространяющихся, в донной части каньона, в теле плотины и за счёт просачивания воды из нижнего бьефа. В этой связи необходимо отметить, что в период проведения первого цикла геофизической съёмки 4-9 июля 2012 г, когда отмечался максимум УВБ, при визуальном осмотре участка подошвы плотины между бетонными плитами на правом фланге наблюдались значительные по расходам потоки воды, стекающей в нижний бьеф. Как отмечалось выше, из-за неудачного КМВ не удалось достичь запроектированных размеров плотины как по высоте, объёму, так и по распластанности профиля плотины. Это стало причиной начавшегося перелива и фильтрации воды из верхнего бьефа практически сразу после КМВ. Дальнейшая отсыпка и формирование гребня плотины до отметки 961 м велась поверх этого потока, расход которого достигал 23 декабря 2009 г. 8-9 м³/с. По-видимому, влияние этого потока проявляется до настоящего времени в виде фильтрационного потока в теле плотины, который как бы унаследовал контуры и пространственное положение потока, возникшего после КМВ.

Таким образом, имеются основания утверждать, что одним из источников увлажнения грунтовой толщи плотины на отметках ниже 940 м между 50 и 120 м погонными метрами профиля II-II (рис. 4б) является поток, который возник в результате перелива воды из водохранилища поверх навала, сформированного сразу после крупномасштабного взрыва (рис.1).

Результаты микросейсмических наблюдений. При изучении сейсмических характеристик грунтов, слагающих тело плотины, использовался метод регистрации и анализа микросейсм, предложенный японским сейсмологом Накамурой. Микросейсм, или сейсмический шум Земли

представляют собой непрерывные, весьма слабые колебания (микроколебания) земной поверхности в широком интервале амплитуд и частот. Для целей сейсмического микрорайонирования наибольший интерес представляют микросейсмы с периодами колебаний в интервале 0,1 – 2,0 сек (0,5 – 10 Гц). При реализации метода Накамуры на практике необходимо при регистрации микросейсм определить реакцию контролируемой точки на поверхностные колебания в виде квазипередаточной функции QST или отношения горизонтальной и вертикальной компонент колебаний на поверхности (H/V) в определенном диапазоне частот.

На рис. 5 представлены отношения горизонтальной H (север-юг) и вертикальной V компонент микросейсм. Усредненные значения отношения H/V показаны черной сплошной линией, а пунктирной линией показаны отношения H/V в пределах одного стандартного отклонения (G) от среднего H/V.

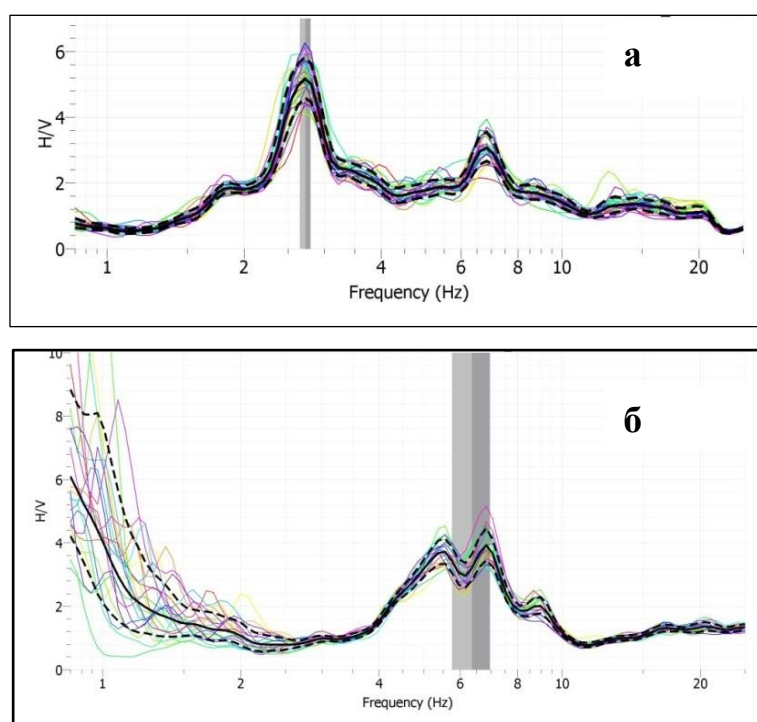


Рис. 5. H/V – спектры микросейсм на гребне плотины (а) и у её основания (б)

Результаты измерений микросейсмического шума по методу Накамуры показывают, что тело дамбы усиливает сейсмический сигнал в диапазоне 2-5 Гц, а фундаментальная частота f_0 насыпной дамбы составляет около 3 Гц (рис.5а). За пределами насыпной дамбы усиления сейсмических колебаний нет. На первой террасе, ниже гребня дамбы в створе скважин 3.1-3.4 наблюдается такая же резонансная частота ($f_0=2,7$ Гц). У основания дамбы, снизу, наблюдается усиление вблизи частоты 6 Гц (рис. 5б), что по методике расчёта Накамуры даёт мощность насыпной дамбы в 20 м.

Заключение. 1. С помощью вертикального электрического зондирования в теле плотины Камбаратинской ГЭС-2 в результате первых двух циклов геофизической съёмки в июле и сентябре 2012 г., а также на основе анализа данных пьезометрических наблюдений выявлены фильтрационные потоки следующего происхождения:

- фильтрационный поток №1 с поперечным сечением около 8 м, формирующийся примерно левее центральной продольной оси плотины и правее ряда буронабивных скважин цементационной завесы левого фланга, проявляющийся в виде двух фильтрационных окон на гребне плотины
- обходной фильтрационный поток №2 представляющий собой часть водного потока, обтекающего левобережное примыкание плотины и выходящего в низовой откос плотины через трещиноватый береговой склон левого борта долины р. Нарын.
- фильтрационный поток №3 в основании плотины, приуроченный к аллювиальным отложениям донной части р. Нарын.
- фильтрационный поток №4 в подошву низового откоса плотины со стороны нижнего бьефа.

2. Результаты анализа изменения уровней воды в наблюдательных скважинах (УВС) и их взаимосвязи с колебаниями уровня воды в верхнем бьефе (УВБ) свидетельствуют о том, с начала режимных пьезо-

метрических наблюдений в сентябре 2010 г. и примерно до начала 2012 г. уровень воды во всех наблюдательных скважинах изменялся практически синхронно с уровнем воды в водохранилище. Особенно чётко эта синхронность проявлялась в периоды резкой сработки и наполнения водохранилища. С начала 2012 г. отмечается нарушение синхронности изменений УВС и УВБ, вплоть до противофазного характера их изменения в периоды резкой сработки водохранилища КГЭС-2.

3. При анализе характера изменения УВС в скважинах пьезометрического створа 2.1-2.5 и скважине №3.1 во времени отчётливо прослеживается тенденция постепенного повышения уровня воды во всех перечисленных скважинах, наиболее близко расположенных к верхнему бьефу. Причём при анализе взаимосвязи УВБ и УВС во времени выявлено, что уровень воды в этих скважинах с начала 2012 г. уже слабее реагирует на колебания УВБ. Совокупность отмеченных особенностей характера изменения УВБ в скважинах №3.1 и №№ 2.1-2.5 может свидетельствовать о постепенной кольматации ядра плотины.

4. В связи с тем, что по данным микросейсмических наблюдений отмечается усиление сейсмических колебаний в насыпной части плотины, рекомендуется проводить внеочередной цикл геодезической съёмки и геофизических исследований тела плотины после сильных землетрясений (с магнитудой $M > 5,0$) в ближней зоне (в радиусе 50 км от плотины).

5. Для повышения эффективности цементационной завесы и снижения неблагоприятного воздействия фильтрационного потока №1 на устойчивость низового откоса плотины рекомендуется с помощью буронабивных скважин обустроить сплошную цементационную завесу по всей длине гребня плотины.

6. Наряду с продолжением мониторинга состояния тела и бортов плотины рекомендуется выполнить контрольные оценки её устойчивости с учётом фактического положения кривой депрессии и сейсмики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корчевский В.Ф., Обополь А.Ю. Камбаратинская ГЭС-2 на р. Нарын в Кыргызской Республике. Актуализация проекта. Сводная пояснительная записка. ООО СПИИ «Гидроспецпроект» - Москва, 2008 - 134 с.
2. Торгоев И.А., Хавенит Х.-Б., Стром А.Л. Влияние крупномасштабного взрыва на оползнеопасные склоны в районе Камбаратинской ГЭС-2 // Материалы V Международного симпозиума «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». г. Бишкек 19-24 июня 2011 г., том 1. - стр. 195-201
3. Торгоев И.А., Айтматов И.Т., Алёшин Ю.Г. Реакция оползней и слабоустойчивых склонов на крупномасштабный взрыв в районе Камбаратинской ГЭС-2 // Современные проблемы механики сплошных сред. Вып. 13. / Сборник трудов Международной конференции «Проблемы геомеханики и освоения недр» Бишкек, 2011. - с.128-138

О СИСТЕМАТИЗАЦИИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПО ПАРАМЕТРУ ВЯЗКОСТИ

Фалалеев Г.Н

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Проектирование, строительство и обеспечение безопасности эксплуатации сооружений невозможно без инженерно-геологической оценки грунтов, рассматриваемых в качестве оснований, среды и материалов для их возведения. Обязательной составляющей при этом является назначение расчетных характеристик физико-механических свойств грунтов. Для максимального использования результатов испытаний физико-механических свойств грунтов, выполняемых различными методами и организациями в разное время, необходимо анализировать функциональные и корреляционные зависимости и взаимосвязи между показателями различных свойств грунтов.

При инженерно-геологических исследованиях, определении номенклатуры глинистых грунтов, показателя консистенции, выделении инженерно-геологических элементов, а также при геотехническом контроле в процессе проведения строительных работ необходимо определять границы пластичности: границу текучести W_L и границу раскатывания W_P .

Методы определения границ W_L и W_P , предусмотренные ГОСТ 5180-84, включают определения границы текучести по влажности грунтовой пасты, при которой балансирный конус погружается под действием

собственного веса на глубину 10 мм, а границы раскатывания – по влажности, при которой паста, раскатываемая в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на кусочки длиной 3 – 10 мм.

Таким образом, для определения границы текучести используется инструментальный способ погружения стандартного балансирного конуса с углом при вершине 30° и массой 76 г.

Методика определения границы раскатывания основывается на субъективном восприятии. Особенно большие расхождения в результатах опытов разных исполнителей наблюдаются при испытании пылеватых грунтов, для которых трудно получить жгут толщиной в 3 мм. W_P .

Границы пластичности характеризуются влажностями границ текучести и раскатывания. Оба показателя определяются, главным образом, минеральным составом и дисперсностью грунтов. Это обстоятельство дало М.А. Солодыхину [1] основание утверждать, что указанные характеристики должны быть взаимосвязаны. Для суглинков, глин и илов, развитых в районе Вунгтау (СРВ), он установил прямолинейную связь между влажностями границы текучести W_L и раскатывания W_P , которая аппроксимируется единой формулой

$$W_P = 0,41W_L + 0,04. \quad (1)$$

Отсюда легко получить

$$I_P = W_L - W_P = 0,53W_L - 0,04, \quad (2)$$

где I_P – число пластичности.

Для грунтов иного минерального состава зависимость влажности границы раскатывания от влажности границ текучести будет иной. Исходя из зависимостей (1) и (2), глинистые грунты можно классифицировать по влажностям границ текучести и раскатывания, а не только по числу пластичности (таблица 1). Это позволяет наиболее объективно определять границы текучести, а затем вычислять другие показатели пластичности.

Нами предложена своя зависимость на основании обработки собственного многолетнего экспериментального материала и данных литературных источников по изучению физико-механических свойств глинистых грунтов. Были приведены значения влажности границ раскатывания и текучести числа пластичности глинистых грунтов разных по возрасту, происхождению и гранулометрическому составу, преимущественно гидрослюдистых, взятых в различных регионах СНГ и Средней Азии. Данные получены экспериментально и вычислены по формуле (3).

$$I_P = W_L - W_P = 0,636 W_L - 8,743 \quad (3)$$

коэффициент корреляции $R = 0,989$.

На рисунке 1 представлен график этой зависимости.

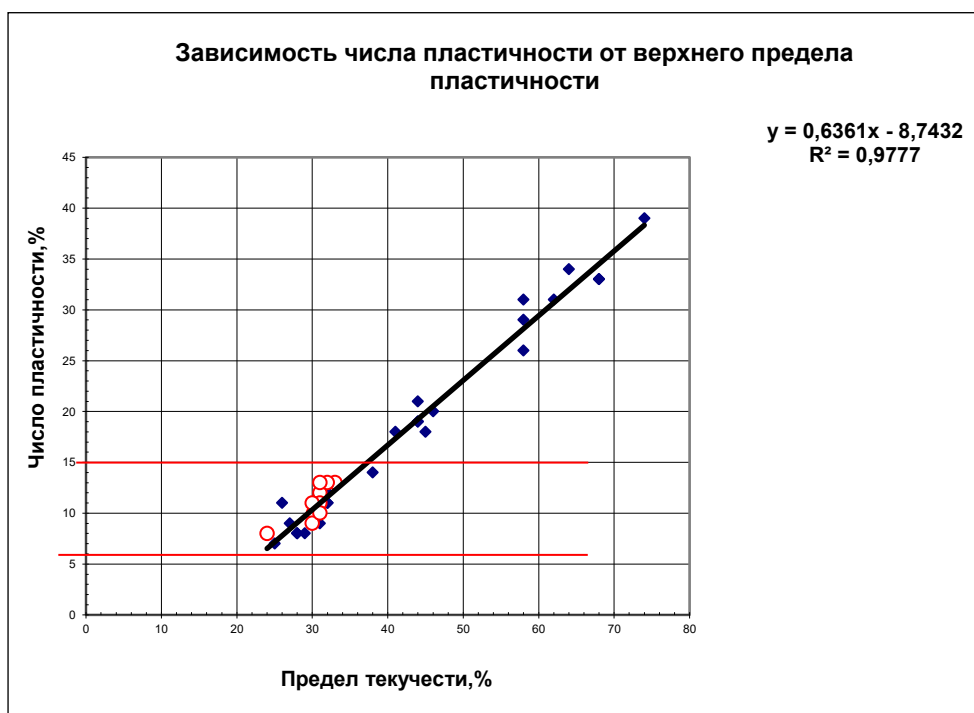


Рис. 1 -Зависимость числа пластичности глинистых грунтов от верхнего предела пластичности.

Основной задачей экспериментальных исследований являлось выявление влияния влажности на величину реологических свойств

глинистых грунтов, в частности на коэффициент вязкости на стадии установившейся ползучести. Такая постановка вопроса обусловлена тем, что смещение оползневых масс в условиях длительной ползучести происходит в покровных суглинках, имеющих консистенцию от полутвердой до текучей. По данным Н.Н. Маслова /2/ диапазон вязкости меняется соответственно от 10^{14} Па.с. до 10^6 Па.с,

Как показали проведенные испытания, величина и длительность деформаций ползучести при сдвиге зависят от величины сдвигающей нагрузки, а также от физического состояния грунта (плотности-влажности). Так как испытания на ползучесть образцов глинистого грунта проводились при 3 значениях влажности, построить зависимость вязкости от влажности не удалось. Однако можно оценить соответствие наших данных по вязкости с данными, приведенными на универсальной зависимости «вязкость- влажность» по литературным данным /3, 4/.

Видно, что наши данные удовлетворительно ложатся на аппроксимирующую прямую в заданном диапазоне влажности. Уравнение корреляционной связи /3/ имеет вид:

$$\ln \eta = \frac{80 - W}{5} . \quad (4)$$

Близкую к этой зависимость вязкости от влажности получена в работе А.Н. Могилко и В.И. Комлева /4/.

Авторы [4] показали, что для глинистых грунтов Сулюктинского месторождения она имеет вид:

$$\ln \eta = \frac{110 - W}{8} \quad (5)$$

Обе зависимости близко сходятся в диапазоне влажности 16-30%, что характерно для оползневого склона (рисунок 2).

Успехи научной работы во многом определяются методом их выполнения. Многие известные мыслители, философы, ученые прошлых столетий и нашей современности уделяли и уделяют большое внимание обобщению, разработке и систематизации методов познания. Среди таких методов можно выделить систематизацию и классификацию. Нужно четко разграничивать эти два понятия. Прежде всего классификация уже, чем систематизация, так как является частью последней.

Классификация, как одна из форм мыслительной деятельности, представляет собой законченную конструкцию и задача исследователя - соотнести то или иное свойство объекта с определенным классом или видом. Систематизация же может постоянно меняться и совершенствоваться. Систематизируемые объекты постоянно сравниваются между собой, что составляет отличие систематизации от классификации. Исходя из этого, любая систематизация должна проводиться по каким-то определенным признакам или принципам.

В нашем случае таким признаком принято число пластичности, которое соответствует тому или иному типу грунта. Исходя из установленной корреляционной связи между числом пластичности и верхним пределом пластичности (рисунок.1) была проведена систематизация глинистых грунтов по параметру вязкости. Выделенные диапазоны значений вязкости на границе текучести не превышали 2 порядков, что можно считать достаточно приемлемым для использования этих данных в предварительных инженерных расчетах (таблица 2). Выбор значения вязкости на границе текучести обусловлен тем, что именно при влажности, близкой к границе текучести, происходят процессы вязкопластического течения грунта, а следовательно и оползнеобразования.

Значения вязкости определялись по усредненной зависимости, приведенной на рисунке 2 и имевшей вид.

$$\eta = 14,88 - 0,162 W_v \quad (6)$$

Графически эта зависимость представлена на рисунке 2 и продлена до значения влажности 60%

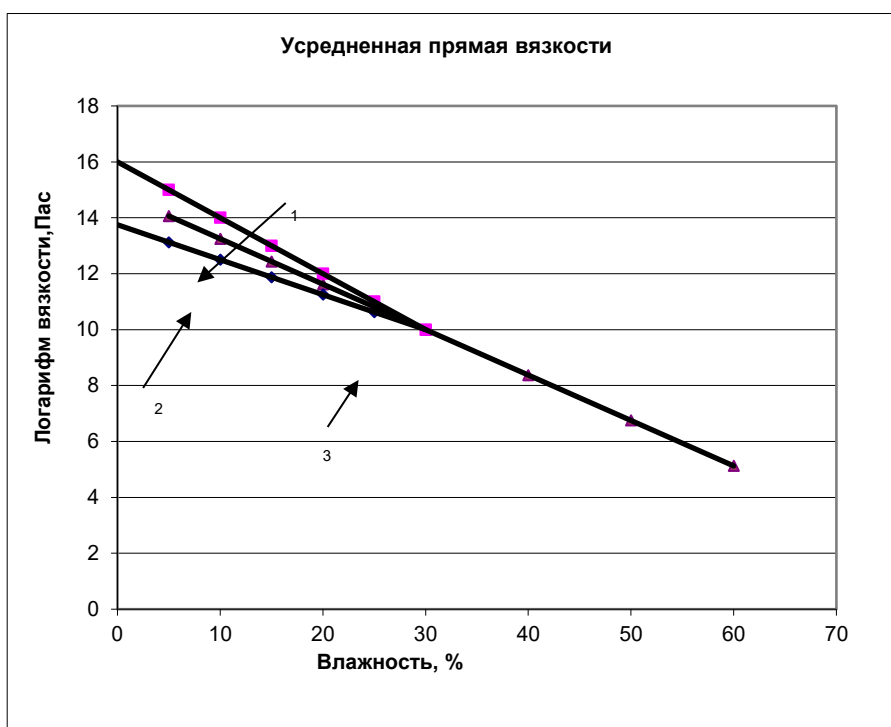


Рис. 2. -Зависимости логарифма вязкости глинистых грунтов от влажности: 1-по уравнению (4); 2-по уравнению (5) и 3- по уравнению (6)

Таблица 2.-Систематизация вязкости глинистых грунтов по числу пластичности и верхнему пределу пластичности

Тип грунта	Число пластичности	Влажность на границе текучести, %	Влажность на границе раскатывания, %	Вязкость на границе текучести, Па*с
Супесь	1-7	9-21	8-14	10^{14} - 10^{12}
Суглинок легкий пылеватый	7-12	21-30	14-18	10^{12} - 10^{10}
Суглинок тяжелый пылеватый	12-17	30-40	18-23	10^{10} - 10^8
Глина	Больше 17	Больше 40	Больше 23	Меньше 10^8

Н.Н. Маслов /2/ приводит свою приближенную систематизацию динамической вязкости грунтов по показателю консистенции.

Таблица 3.-Систематизация вязкости глинистых грунтов по показателю консистенции

Консистенция грунта	Показатель консистенции	Вязкость, Па*с
Текучепластичная	0,75-1,00	Меньше (10^9 - 10^{10})
Мягкопластичная	0,50-0,75	(10^{10} - 10^{11})
Пластичная	-	(10^{11} - 10^{12})
Тугопластичная	0,25-0,50	(10^{12} - 10^{13})
Полутвердая	0-0,25	(10^{13} - 10^{14})
Твердая	Меньше 0	Больше (10^{14} - 10^{15})

В этой таблице хотя и диапазоны вязкостей в пределах 1 порядка, но непонятно с какими типами грунтов они соотнесены.

В качестве примера сравним данные по вязкости, полученные в работе К.Болей и Л.А.Строковой /5/, с расчетом по 2 систематизациям.(таблицы 2 и 3)

Данные по физико-механическим свойствам глины /5/ следующие:

Влажность, %	Верхний предел пластичности, %	Нижний предел пластичности, %	Число пластичности, %	Показатель консистенции, д.ед.
1	2	3	4	5
43	68	20	48	0,51

По нашей систематизации вязкость глины при верхнем пределе пластичности, равном 68%, что больше 40 %, лежит в диапазоне 10^8 Па*с и меньше.

По систематизации Н.Н.Маслова /2/ при показателе консистенции 0,51, что соответствует пластичной и мягкопластичной консистенции, вязкость заключена в диапазоне 10^{12} - 10^{10} Па*с. Авторы же этой

работы /5/ приводят экспериментальные значения вязкости, не превышающие диапазон $10^7 - 10^8$ Па*с, что реально соответствует нашим расчетным данным с точностью до порядка.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных экспериментальных исследований по определению реологических свойств глинистых грунтов при сдвиге установлено следующее:

1. Установленные корреляционные связи числа пластичности с влажностью на границе текучести позволяют избежать определения влажности границы раскатывания, как способа весьма субъективного и зависящего от квалификации исполнителей.
2. Предложенная систематизация глинистых пород по вязкости при различных диапазонах влажности на границе текучести позволяет использовать параметр вязкости для предварительных расчетов смещений грунта на горных склонах. Для более точных и ответственных расчетов необходимы прямые методы определения вязкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солодухин Н.А. Инженерно-геологические изыскания для промышленного и гражданского строительства.- М.: Недра, 1985.
2. Маслов Н.Н. Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства.- М.: Стройиздат, 1984, стр. 42.
3. Шадунц К.Ш. Оползни-потоки.- М.: Недра, 1983, стр. 80-82.
4. Могилко А.Н., В.И. Комлев. Оползни в районах угольных месторождений Средней Азии. // Геологические закономерности и взаимообусловленность развития оползней, обвалов и селевых потоков. Материалы симпозиума, г. Душанбе, 1975, стр. 119-125.
5. Болей К., Л.А. Строкова. Определение характеристик ползучести глинистых грунтов. // Труды Томского политехнического университета. 2007, т. 310, №2, с. 42-44.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СЕЗОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЛЕВОБЕРЕЖНОГО СКЛОНА В РАЙОНЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э.

ИГОН НАН КР

ИГОН НАН КР проводит наблюдения за деформациями и смещениями потенциально обвалоопасного блока 46-R-7, расположенного в левобережном склоне Токтогульской ГЭС, начиная с 1970 г. Блок имеет высоту около 250 м и расположен над машинным залом. Поэтому выявление предрасположенности его к сползанию и обрушению имеет большое значение с точки зрения безопасности и проведения мероприятий по повышению его устойчивости.

Блок 46-R-7 представляет собой возможную призму обрушения, состоящую из подвижного клина, отделенного от основного массива зияющей тектонической трещиной 995, и подпорной стенки, отделенной от подвижного блока трещиной бортового отпора 69. Для мониторинга блока используются деформографы и гидростатические нивелиры, разработанные для регистрации угловых и линейных деформаций современных движений земной коры с чувствительностью 10^{-8} /1/. Деформографы регистрируют изменения расстояния, а нивелиры – вертикальные превышения, между точками массива, охваченными базами приборов. При совместном анализе используют как абсолютные значения перемещений, так и относительные, т.е. регистрируемые абсолютные перемещения, отнесенные к базам приборов. Они характеризуют вертикальные и горизонтальные перемещения между крайни-

ми точками горизонтально расположенного отрезка единичной длины. Можно также говорить об относительном полном векторе перемещения, имеющем компонентами зарегистрированные горизонтальные и вертикальные относительные перемещения.

Результаты долговременных наблюдений (1970-1991 гг.), полученные на четырех наблюдательных станциях левобережного склона в виде временных рядов с шагом по времени один месяц, позволили представить закономерности и динамику развития деформаций склонов /1/. Деформации состоят из двух составляющих: необратимых (остаточных) и обратимых (упругих). Последние имеют сезонный характер, т.е. их период равен одному году. Установлено, что в склонах, в результате развития необратимых деформаций, происходит смещение массива пород в сторону свободной поверхности. Скорости смещений массивов горных пород возрастают по мере приближения к дневной поверхности, т.е. в зоне разуплотнения пород.

По интенсивности развития деформаций и смещений склонов во времени выделяются три этапа: этап естественных деформаций склона, обусловленных разгрузкой и ползучестью скального массива (1970-71 гг.), этап интенсификации деформаций склонов под влиянием техногенных факторов (1972-77 гг.) и этап относительной стабилизации после завершения строительства плотины и заполнения водохранилища до 150 м. На основе анализа скоростей необратимых деформаций был предложен критерий устойчивости блока, согласно которому склон находится в естественном устойчивом состоянии, если скорости необратимых деформаций не превышают 10^{-4} 1/год /1/.

В общем случае временной ряд должен рассматриваться состоящим из четырех компонент: а) тренда или долгосрочного движения, б) более или менее регулярных колебаний относительно тренда, в) сезонной компоненты, г) остатка или несистематического случайного эффекта. При этом основная задача состоит в определении

тренда и сезонной компоненты. Если представить временной ряд в виде, например, аддитивной модели: $F(t) = T(t) + S(t)$

где $T(t)$ представляет собой тренд, $S(t)$ – сезонная компонента, то появляется также возможность краткосрочного прогноза деформаций.

Трудность заключается в том, что тренд обычно задают гладкой функцией, т.е. непрерывной и дифференцируемой функцией времени. Оползнеопасный блок, как правило, в результате интенсивных экзогенных воздействий испытывает необратимые смещения, происходящие за короткие промежутки времени. Аналитически описать такую функцию достаточно трудно. Поэтому в данной работе основной акцент сделан на определение сезонной компоненты. Под сезонными деформациями будем понимать все составляющие, связанные с влиянием любых экзогенных факторов, с периодом близким к одному году. К примеру, многие геофизические ряды имеют ярко выраженную несинусоидальную форму, однако содержат одни и те же характерные особенности, появляющиеся примерно в одни и те же месяцы /3,4/. Вычитание их из временных рядов дает нам выделенный тренд.

Для выделения сезонной компоненты в нашем случае удобно использовать метод «среднего сезона» /3,4/. Условием применимости этого метода является постоянство свойств ряда, в частности, наличие фиксированной сезонной компоненты с постоянными или почти постоянными (т.е. повторяющимися каждый год) амплитудой, фазой и формой вариаций. В качестве функции-репера используется средний по всему ряду годовой ход, рассчитанный методом наложения эпох:

$$S(t) = \sum_{k=1}^N P(t + kT)$$

Таким образом, в качестве временных рядов рассматривается совокупность прецизионных измерений горизонтальных деформаций и вертикальных относительных превышений в течение 22 лет (1970-

1991 гг). Для выделения гладкой компоненты (тренда и краткосрочных колебаний) используется скользящее среднее, подсчитываемое на участке усреднения, равном одному году /2/. Отнимая полученную таким образом гладкую компоненту от исходного ряда получаем в остатке временной ряд сезонных деформаций.

Как и следовало ожидать, необратимые резкие подвижки и смещения, имевшие место в исходных рядах в 1972-1977 гг. привели к тому, что амплитуды сезонных колебаний в этот период оказались завышенными, поскольку они перешли в ряд сезонных перемещений. В последующем усреднении методом наложения эпох они исключались из рассмотрения. Расчетные значения средних сезонов приведены в таблице 1. Единица измерения – мкм/м или в безразмерных единицах деформации имеют порядок 10^{-6} . Знак «плюс» у горизонтальных деформаций означает сжатие, а у вертикальных превышений перемещение вверх. Знак «минус» соответственно – растяжение и перемещение вертикальных превышений вниз. Среднеквадратичные отклонения не превышают 10%.

Таблица 1

Расчетные значения средних сезонов

	Станция 1		Станция 2		Станция 3		Станция 4	
	деф	нив	деф	нив	деф	нив	деф	нив
Январь	-0,69	-7,54	-10,1	0,28	-0,33	-0,34	3,48	-3,18
Февраль	-0,76	-10,9	-14,3	-1,22	-0,31	-0,53	5,01	-6,66
Март	-0,47	-10,8	-12,3	-2,38	-0,23	-1,19	4,85	-7,50
Апрель	-0,12	-7,65	-7,80	-2,29	-0,16	-0,90	3,42	-6,50
Май	0,16	-2,81	-2,56	-1,62	-0,04	-0,64	1,31	-5,10
Июнь	0,48	2,95	3,43	-1,06	0,14	-0,24	-1,02	-2,61
Июль	0,69	8,17	8,61	0,01	0,32	0,49	-2,97	2,81
Август	0,77	11,01	13,1	1,03	0,41	1,08	-4,26	7,36
Сен-брь	0,67	11,29	13,54	2,33	0,33	1,56	-4,67	8,63
Октябрь	0,31	8,18	10,27	3,09	0,10	1,27	-3,99	7,26
Ноябрь	-0,13	3,66	3,99	2,45	-0,08	0,88	-2,54	4,99
Декабрь	-0,38	-3,19	-2,69	0,97	-0,20	0,58	0,56	1,48

Известно, что сезонные вариации регистрируются повсеместно [3,4,5]. Их амплитуда и характер изменения в течение года определяются годовым ходом температуры и их градиентом, количеством осадков, свойствами и водопроницаемостью пород, уровнем грунтовых вод, рельефом местности и т.д. Однозначная интерпретация затруднена ввиду многофакторности процесса. Считается, что если сезонные деформации имеют гармонический (синусоидальный) характер, то это является следствием влияния температуры. Если ход деформаций иной, но имеется ярко выраженный сезонный характер, то это связано с другими климатическими факторами. Наиболее информативным параметром являются амплитуды сезонных деформаций, которые в различных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях имеют величину $10^{-7} \div 10^{-5}/5/$.

Анализ полученных результатов показывает, что сезонные компоненты имеют вид гладкой кривой по форме близкой к синусоиде. Это означает, что наши сезонные ряды можно в последующих работах подгонять функцией вида:

$$S(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$$

где коэффициенты A и B подбираются на каждом шаге равном одному году.

При воздействии на массив сезонных нагрузок следует ожидать, что будут зарегистрированы взаимосогласованные упругие перемещения, особенно в пределах одной станции. Как видно из таблицы, не всегда имеется достаточно ясный, однозначный отклик на воздействие сезонных напряжений даже по приборам одной станции. Так вертикальные и горизонтальные деформации, регистрируемые приборами, находящимися на одной станции, могут существенно отличаться по величине. На станциях №1 и №3 преобладают вертикальные деформации, на станции №2, наоборот, горизонтальные, причем численные значения могут отличаться на порядок. Кроме того, следовало бы

ожидать, что при увеличении температуры будет происходить расширение массива, т.е. деформографы будут регистрировать растяжение. Фактически три из четырех деформографов(станции №1, №2, №3) зарегистрировали сжатие в летние месяцы и, соответственно, растяжение – в зимние, т.е. можно было бы сделать вывод о том, что прямой термический эффект не является определяющим. Однако, в то же время все нивелиры регистрируют в летние месяцы движение вверх, т.е. массив расширяется.

Чтобы показать, что в пределах одной станции сезонные перемещения являются согласованными, рассмотрим общее движение элемента среды единичной длины. Для протяженных склонов естественно предположить, что имеет место плоское деформированное состояние. Тогда более объективной величиной, отражающей воздействие сезонных нагрузок, будет полный вектор относительных перемещений, имеющий координатами горизонтальные и вертикальные относительные перемещения, которые регистрируются на каждой станции. Сложение взаимно перпендикулярных сезонных колебаний показывает, что результирующее движение, с учетом ошибок, может быть представлено прямой, т.е. оба колебания происходят в фазе. Косвенно об этом свидетельствует достижение максимумов и минимумов в одни и те же месяцы. Отметим также, что амплитуды полных смещений, за исключением станции №3 (что естественно, т.к. она расположена в ненарушенном массиве), сблизилась по величине (увеличились перемещения станции №4).

Качественно объяснить полученные результаты можно следующим образом. Кроме станции №3, все остальные расположены так, чтобы регистрировать перемещения разных берегов тектонических трещин и, кроме того, они находятся на различных расстояниях от свободной поверхности. Трещины пересекаются почти под прямым

углом, установленными на наблюдательных станциях штанговыми деформографами и гидростатическими нивелирами. Станция №1 находится на отметке 814 м в зоне влияния трещины 69. Трещина 69 тектоническая 3-го порядка, находится в зоне бортового отпора, угол падения 85° , азимут простирания $240-260^{\circ}$, наполнитель брекчия и глина трения. Она разделяет подвижный клин и подпорную стенку. Расстояние до свободной поверхности невелико. Станция №2 также расположена на отметке 814 м, но за станцией №1, в зоне влияния трещины 995 шириной 100-400 мм, угол падения $60-80^{\circ}$, азимут простирания $260-270^{\circ}$. Трещина отделяет подвижный клин от основного массива. Станция №4 располагается на отметке 870 м и приурочена к трещине 995 вблизи места её выклинивания на дневную поверхность, расстояние до которой составляет 5÷10 м. Станция №3 расположена на расстоянии 70÷95 м от свободной поверхности склона р.Нарын.

Рассмотрим, как поведет себя массив при годовом ходе температуры. Наибольшее воздействие будет оказано на приповерхностные слои горного склона. Это станции №1 и №4. Нивелиры фиксируют превышения на разных берегах трещин, которые к тому же не оказывают сопротивления этому перемещению. Поэтому здесь значительна вертикальная компонента, т.к. один берег трещины прогревается сильнее другого. Станция №2 находится в глубине массива, прогревание, как подвижного клина, так и основного массива происходит в основном за счет циркуляции воздуха по зияющей трещине 995. Кроме того, нивелир регистрирует превышения, которые в этом случае будут малы, посколькугреваются оба берега трещины. Горизонтальные же перемещения велики, поскольку расширение скальных пород приводит к смыканию берегов трещин.

Полученные результаты указывают, что сезонные деформации в основном обусловлены влиянием годового хода температуры. Поэтому заманчивая перспектива использовать амплитуды сезонных де-

формаций в качестве критерия устойчивости лишена оснований, поскольку температурные деформации не зависят от состояния поверхности скольжений. Полагалось, что амплитуды сезонных деформаций при одинаковых, повторяющихся из года в год, метеоусловиях и устойчивом состоянии массива будут оставаться постоянными. При ослаблении массива, возникновении новых поверхностей разрушения, амплитуды должны возрастать. Если принять амплитуду сезонных перемещений в начальный момент времени A_0 , а в любой другой последующий момент – A_t и обозначить $\Delta A(t) = A_t - A_0$, то критерий устойчивости по амплитуде сезонных деформаций будет иметь вид: $\Delta A(t) \leq 0$ - массив устойчив, $\Delta A(t) > 0$ - массив неустойчив [1].

Таким образом, показано, что сезонные деформации в основном обусловлены влиянием годового хода температуры. Приведенные в работе «средние сезоны» могут быть использованы для краткосрочного прогноза регистрируемых перемещений. Отклонение регистрируемых величин от прогнозных будет означать, что наблюдаемый блок испытывает необратимые смещения и деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов В.Я. Механика горных склонов. Бишкек: Илим, 1992. 192с.
2. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736с.
3. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Сидорин А.Я. Некоторые алгоритмы фильтрации для геофизических временных рядов // Физика Земли, 1996, № 2, с. 56-67.
4. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Две модели сезонных вариаций геофизических полей // Физика Земли, 2000, №6, с.14-25
5. Латынина Л.А., Кармалеева Р.М. Деформографические измерения. М.: Наука, 1978. 154с.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Тажибаев Д.К.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В основе ультразвукового метода определения напряжений в массиве горных пород лежит взаимосвязь величин действующих напряжений с параметрами упругих волн в породах – скоростью их распространения, амплитудой и частотой.

Волна, как известно, представляет собой явление распространения колебаний в среде, которое обусловлено наличием связи между смежными частицами среды. Характер связей, реализуемых в колебательном процессе, определяет тип распространяющихся в среде волн. Упругая волна обусловлена силами упругости, возникающими вследствие упругой деформации среды при ее колебаниях /1/.

Основные характеристики волнового процесса – скорость распространения волны v в среде, ее амплитуда A , длина волны λ и частота колебаний f . Между длиной волны λ , скоростью ее распространения v и частотой колебания f существует соотношение $v = \lambda f$.

При распространении колебаний частицы среды не перемещаются с распространяющейся волной, а колеблются около своих положений равновесия. Колебания частиц вдоль направления, по которому распространяется возмущение среды, создают продольную волну P ; колебания частиц перпендикулярно к направлению распространения возмущения в среде создают поперечную волну S . Продольные волны

суть последовательные деформации сжатия и растяжения, которые распространяются в направлении движения волны. Поперечные волны суть деформации сдвига, распространяющиеся перпендикулярно к движению волны /1/.

Все существующие методы измерений скорости ультразвука с точки зрения физики, происходящих при этом процессов можно разделить на три группы /2/:

а) оптические методы, основанные на взаимодействии светового и ультразвукового полей;

б) интерферометрические методы, основанные на интерференции ультразвуковых волн в исследуемом веществе;

в) импульсные методы, основанные на измерении промежутка времени, в течении которого ультразвуковая волна проходит известное расстояние.

Среди вышеуказанных методов в настоящее время наиболее полно разработан импульсный сейсмический (ультразвуковой) метод определения напряжений, основанный на взаимосвязи с напряженным состоянием горных пород акустических (сейсмических) характеристик - скорости и затухания упругих волн, возбуждаемых в массиве. Для количественной оценки напряжений в породном массиве используют эффект скоростной анизотропии пород при их нагружении. Сущность этого эффекта состоит в том, что для многих пород с возрастанием давления увеличивается скорость продольных упругих волн. При этом рост скорости происходит по тому же направлению, что и увеличение нагрузки, тогда как в других направлениях эти изменения незначительны /3/.

Для различных пород рост скоростей продольных волн с увеличением давления неодинаков: от нескольких процентов до 50% и более. Рост скоростей начинается сразу же с увеличением давления и прекращается при напряжениях, составляющих для различных пород

30 - 70% разрушающего напряжения сжатия. При неравномерном нагружении, т. е. когда напряжения по одному из направлений превышают таковые по другим направлениям, в массиве пород появляется скоростная анизотропия /4/.

С помощью ультразвукового метода можно определять упругие свойства горных пород, а также провести оценку трещиноватости и напряженного состояния массива горных пород. Комплекс современной аппаратуры для выполнения исследований ультразвуковым методом позволяет проводить необходимые измерения в шпурах и скважинах в условиях как подземных, так и открытых горных работ. В частности ультразвуковой метод широко используется для оценки удароопасности. Физические принципы решения указанных задач основаны на применении инвариантных физических величин – скоростей упругих волн, реагирующих как на вариации напряженного состояния, так и на структурные особенности (трещины) массива пород.

Ультразвуковой метод широко используется для изучения поля напряжений и его вариаций при разработке крупнейших апатито-нефелиновых месторождений уникального Хибинского щелочного массива.

Хибинские апатито-нефелиновые месторождения Кукисвумчорр (Кировский рудник) и Расвумчорр-цирк (Расвумчоррский рудник) расположены в юго-западной части Хибинского массива в центре Кольского полуострова. Они относятся к одной рудной линзе, прослеженной по простиранию на расстояние более 11 км, а по падению – до 2 км.

По мере развития горных работ на рудниках Хибинского массива вредные проявления горного давления все более активизируются, что особенно ощутимо при переходе к разработке глубинных горизонтов. Уже на глубинах 70 м в некоторых выработках были отмечены призна-

ки «стреляния» пород (породных взрывов), на глубинах же 100-150 м этот процесс проявляется весьма отчетливо /1/.

Необходимость выявления причин и механизма наблюдаемых проявлений горного давления, прогнозирования их форм и параметров во взаимосвязи с развитием и совершенствованием систем разработки, создания эффективных мер по управлению горным давлением послужила основанием для детального изучения напряженного состояния пород, как в нетронутом массиве, так и в отдельных элементах системы разработки, а также для изучения изменений напряженного состояния и деформирования пород по мере развития разработки /1/.

Внешний вид комплекса «Ультразвук» для ультразвуковых исследований массива горных пород, который был разработан Горным институтом Кольского научного центра РАН и активно используется при натурных исследованиях на рудниках Хибинского массива показан на рис.1.



Рис.1. Внешний вид комплекса «Ультразвук»

В состав комплекса «Ультразвук» входят: пневматические зонды, регистрирующий прибор, вспомогательное оборудование (досылочные штанги, кабели и пневмошланги). В качестве выходных парамет-

ров ультразвуковых измерений используют пространственные распределения и временные изменения скоростей продольных и поперечных волн V_P , V_S , км/с и амплитуд сигналов $A_{отн}$, $A_б$, скоростей $V_{ро}$, V_{so} в образцах, а также их статистическое распределение.

Схемы измерений ультразвуковым методом могут быть различными в зависимости от решаемых задач (методика Горного института Кольского научного центра РАН):

- а) комбинированная «прозвучивание—каротаж» по трехточечной схеме на продольных и поперечных волнах (рис.2.а);
- б) акустический каротаж по одиночным скважинам на продольных и поперечных волнах (рис.2.а, б);
- в) низкочастотное прозвучивание на больших базах до 15 м на продольных и поперечных волнах (рис. 2. в);
- г) многопрофильный акустический каротаж по одиночным скважинам на продольных и поперечных волнах на высоких частотах и малых базах (до 0,1м) (рис.2.г);

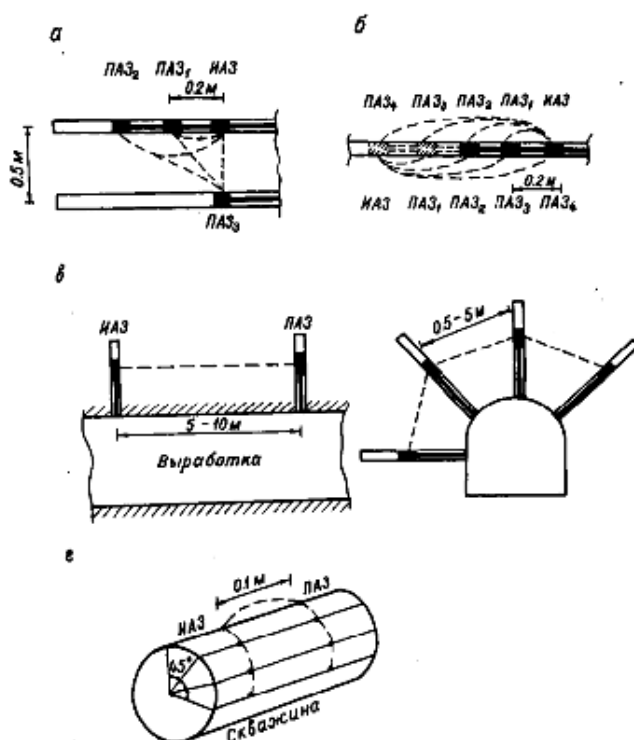


Рис. 2.Основные схемы измерений комплексом «Ультразвук».

Ниже на рис.3 приведен график распределения скорости продольной волны с использованием трехточечной схемы акустического каротажа в одиночной скважине (результаты исследований Горного института КЦН РАН).

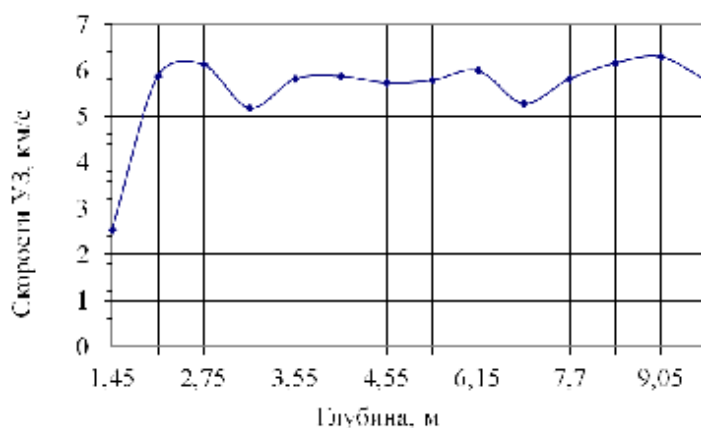


Рис.3. График прохождения скорости продольной волны в исследовательской скважине в карьере рудника «Железный», ОАО «Ковдорский ГОК».

Также при исследованиях массива ультразвуковым методом применяют следующие приборы: УК-14П, УК-СПЕКТР, УК-МАЯК, УК-ПРОГНОЗ (рис.4.). Они предназначены для оценки структуры, свойств и состояния горных пород в массиве и блоках и отличаются возможностью проведения многопараметровых ультразвуковых измерений в геоматериалах с повышенным затуханием в условиях помех.



Рис.4. Ультразвуковые приборы для геоконтроля.

В частности ультразвуковой прибор УК-ПРОГНОЗ, разработанный специалистами научного центра Московского Государственного Горного Университета, предназначен для оценки свойств и состояния горных пород.

Прибор УК-ПРОГНОЗ позволяет проводить:

- определение физико-механических свойств;
- оценку напряженно-деформированного состояния массива горных пород и трещиноватости горных пород в окрестностях выработок;
- дефектоскопию блоков облицовочного камня в цеховых и полевых условиях.

Область применения прибора УК-ПРОГНОЗ: шахты и рудники, не опасные по пыли и газу; предприятия по добыче и переработке природного камня; строящиеся и эксплуатируемые подземные сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турчанинов И.А., Панин В.И. Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве.— М.: Наука, 1976.- 164 с.
2. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения. — М.: Издательство стандартов, 1970.
3. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях.— М.: Недра, 1987.- 278 с.
4. Ржевский В.В., Ямщиков В.С. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве. — М.: Наука, 1973.- 224 с.

ТЕОРИЯ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ АЛЮМИНИЕВОГО ЛИСТА В ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

Субботина Е.А.

Кыргызско-Российский Славянский Университет

Рассматривается постановка задачи, включающей анализ поля скоростей деформаций, которые возникают в процессе продольной прокатки полосы из алюминиевых сплавов в режимах сверхпластичности. Решение задачи ищется в предположении радиальности течения металла в очаге деформации.

1. Продольная прокатка. Прокаткой называется [1,2] процесс пластического деформирования тел между вращающимися приводными валками.

Способ продольной прокатки является наиболее распространенным. В этом случае полоса подводится к валкам, вращающимся в разные стороны, и втягивается в зазор между ними. За счет сил трения на контактной поверхности, полоса обжимается по высоте и принимает форму зазора (калибра) между валками. При этом способе прокатки полоса совершает только поступательное движение.

Кинематика процесса продольной прокатки полосы.

Рассмотрим случай прокатки в валках одинакового радиуса, вращающихся с одинаковыми угловыми скоростями. (рис.1)

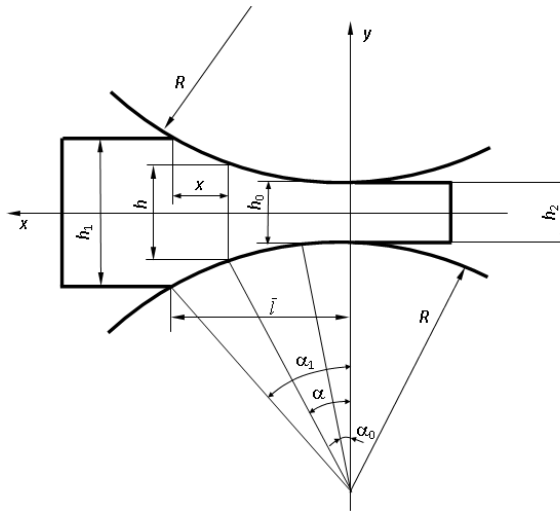


Рис.1 Кинематическая схема

В результате операции полоса толщиной h_1 на входе в валках становится h_2 на выходе из валков. Отношение:

$$\Lambda = \frac{h_1 - h_2}{h_1}, \quad (1.1)$$

называется обжатием полосы

Часть полосы между входом и выходом из валков рассматривается как очаг деформации. Предполагается, что вся деформация полосы происходит в очаге деформации.

Основные параметры деформирования полосы следующие:

- закон изменения толщины полосы в очаге деформации

$$h = h_2 + 2R(1 - \cos \alpha); \quad (1.2)$$

- абсцисса текущей точки на дуге контакта

$$x = R \sin \alpha; \quad (1.3)$$

- длина очага деформации

$$\bar{l} = R \sin \alpha_1; \quad (1.4)$$

- радиус деформированной поверхности валка

$$R = R_0 \left[1 + \frac{P_y}{C \Delta h} \right], \quad (1.5)$$

причем

$$C = \frac{\pi E}{16(1 - \mu^2)} \quad (1.6)$$

Здесь R - радиус деформированной поверхности валка; α_1 - угол захвата полосы между валками ($\alpha_1 = \max \alpha$); E - модуль упругости; μ - коэффициент Пуассона материала валков; P_y - вертикальная проекция действующих на валок сил, приходящихся на единицу ширины полосы; $\Delta h = h_1 - h_2$ - изменения толщины листа при прокатке.

Полагается, что если ширина полосы b более, чем в 5 раз превышает диаметр валков, то деформацию вдоль ширины полосы можно принять равной нулю. При этом, воспользовавшись условием несжимаемости материала, получим закономерность изменения средних скоростей перемещений v в направлении прокатки в виде:

$$v = \frac{v_1 h_1}{h} = \frac{v_2 h_2}{h}, \quad (1.7)$$

где v_1, v_2 - соответственно средние скорости перемещений на входе и выходе из валков, h - текущая толщина полосы, определяемая углом α .

Из выражения (1.7) видно, что по мере продвижения в валках средняя скорость v возрастает. Очевидно, что если на входе средняя скорость перемещения меньше окружной скорости валков, то на выходе из валков указанная скорость больше окружной. Это означает, что на начальном участке контакта полосы и валков силы, действующие на полосу, направлены в сторону движения металла, а на участке, примыкающем к выходу, в сторону обратную движению. Угловую координату точки, в которой силы трения меняют знак, обозначим через x_0 . Сечение, соответствующее этому углу, считается нейтральным, а толщина полосы при этом равняется h_0 . Часть очага деформации от входа в валки до нейтрального сечения называется [1...3]

зоной отставания, а другая часть от нейтрального сечения – зоной опережения.

В соответствии принятому допущению (1.7) рассмотрим двумерную задачу прессования полосы.

2. Постановка задачи. Предполагается, что в процессе прокатки полосы угол захвата валков малый. Это означает, что определения энергосиловых и кинематических параметров технологической операции может быть привлечено проведенное [1,4,5] исследование течения материалов в клиновидном сходящемся канале с углом при вершине α^* (рис.2). Иными словами, дуга контакта заменяется прямой линией.

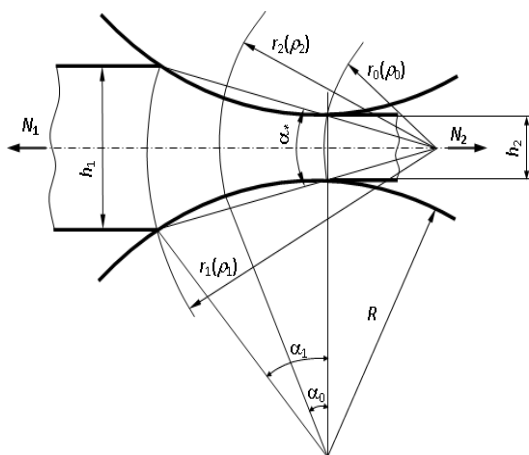


Рис. 2 К постановке задачи

Считается, что процесс прокатки реализуется в изотермических условиях в диапазоне температур, не выходящих за термический интервал сверхпластичности промышленных алюминиевых сплавов [6].

Введем цилиндрическую систему координат rxz , причем начало координат разместим в вершине клина. Математическая формулировка задачи включает:

– дифференциальные уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\rho\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\alpha}{\rho} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{\rho\alpha}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_\alpha}{\partial \alpha} + \frac{2\tau_{\rho\alpha}}{\rho} = 0; \quad (2.1)$$

– кинематические соотношения

$$\dot{\epsilon}_\rho = \frac{\partial v_\rho}{\partial \rho}; \quad \dot{\epsilon}_\alpha = \frac{v_\rho}{\rho}; \quad \dot{\gamma}_{\rho\alpha} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial v_\rho}{\partial \alpha}; \quad (2.2)$$

– условие несжимаемости в скоростях

$$\dot{\epsilon}_\rho + \dot{\epsilon}_\alpha = 0; \quad (2.3)$$

– определяющие соотношения в уравнении теории упругопластических процессов малой кривизны [7]

$$\sigma_\rho - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\epsilon}_\rho; \quad \sigma_\alpha - \sigma_0 = \frac{2\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\epsilon}_\alpha; \quad \tau_{\rho\alpha} = \frac{\sigma_u}{3\dot{\epsilon}_u} \dot{\gamma}_{\rho\alpha}; \quad 3\sigma_0 = \sigma_\rho + \sigma_\alpha; \quad (2.4)$$

- уравнение состояния [6] в форме зависимости интенсивности напряжений от интенсивности скоростей деформаций

$$\sigma_u = 1 - m_0 - \beta + (3m_0 + \beta)\epsilon_u - 3m_0\dot{\epsilon}_u^2 + m_0\dot{\epsilon}_u^3, \quad (2.5)$$

здесь $\sigma_{ij}, \dot{\epsilon}_{ij}$ - составляющие тензоров напряжений и скоростей деформаций, отнесенные соответственно к альтернативным внутренним параметрам состояния $\sigma^*, \dot{\epsilon}^*$, вектор скорости радиального перемещения v_ρ , отнесенный к величине $\dot{\epsilon}^* b$, где b - ширина полосы, все линейные размеры считаются поделенными на величину b ($\rho = r/b; l = \bar{l}/b$), m_0 - постоянная материала, $\beta = \beta(\xi)$, где ξ - приведенная температура [6].

Граничные условия будут формулироваться в процессе решения задачи.

3. Определение разрешающей функции. Зависимости (2.2) подставим в условие несжимаемости (2.3). Имеем

$$\frac{\partial v_\rho}{\rho} + \frac{v_\rho}{\rho} = 0. \quad (3.1)$$

Интеграл полученного дифференциального уравнения будет равен

$$v_\rho = \frac{K(\alpha)}{\rho}, \quad (3.2)$$

где $K(\alpha)$ - неизвестная функция, подлежащая установлению.

Воспользовавшись (3.2), для компонент скоростей деформаций можем записать

$$\mathcal{E}_\rho = -\frac{k(\alpha)}{\rho^2}; \quad \mathcal{E}_\alpha = \frac{k(\alpha)}{\rho^2}; \quad \gamma_{\rho\alpha} = \frac{k'(\alpha)}{\rho^2}. \quad (3.3)$$

Интенсивность скоростей деформаций определяется известной формулой

$$\mathcal{E}_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[(\mathcal{E}_\rho - \mathcal{E}_\alpha)^2 + (\mathcal{E}_\alpha - \mathcal{E}_z)^2 + (\mathcal{E}_z - \mathcal{E}_\rho)^2 + \frac{3}{2} (\gamma_{\rho\alpha}^2 + \gamma_{\alpha z}^2 + \gamma_{z\rho}^2) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3.4)$$

В условиях радиального течения $\mathcal{E}_z = \gamma_{\alpha z} = \gamma_{z\rho} = 0$. Следовательно,

$$\mathcal{E}_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[(\mathcal{E}_\rho - \mathcal{E}_\alpha)^2 + \mathcal{E}_\alpha^2 + \mathcal{E}_\rho^2 + \frac{3}{2} \gamma_{\rho\alpha}^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3.5)$$

Поставив (3.3) в (3.5), для интенсивности скоростей деформаций получим

$$\mathcal{E}_u = \frac{1}{\rho^2} L^{\frac{1}{2}}(\alpha), \quad (3.6)$$

где

$$L(\alpha) = \frac{1}{3} [4k^2(\alpha) + k'^2(\alpha)]. \quad (3.7)$$

Определяющие соотношения (2.4) с учетом (3.6), (3.7) примут вид

$$\sigma_\rho - \sigma_0 = -\frac{2}{3} T(\alpha, \rho) k(\alpha); \quad \sigma_\alpha - \sigma_0 = \frac{2}{3} T(\alpha, \rho) k(\alpha); \quad \tau_{\rho\alpha} = \frac{1}{3} T(\alpha, \rho) k'(\alpha), \quad (3.8)$$

причем

$$T(\alpha, \rho) = (1 - m_0 - \beta) L^{\frac{1}{2}}(\alpha) + \frac{3m_0 + \beta}{\rho^2} - \frac{3m_0}{\rho^4} L^{\frac{1}{2}}(\alpha) + \frac{m_0}{\rho^6} L(\alpha). \quad (3.9)$$

Очевидно, что составляющие напряжений, скоростей перемещений и деформаций будут найдены, если установлен явный вид функции $k(\alpha)$, которую назовем разрешающей.

Для описания вида функции $k(\alpha)$ поставим соотношение (3.8) в дифференциальное уравнение (2.1). Имеем

$$3\frac{\partial\sigma_0}{\partial\rho}=2\frac{\partial T}{\partial\rho}k-\frac{1}{\rho}\frac{\partial T}{\partial\alpha}k'-\frac{1}{\rho}Tk''+\frac{4}{\rho}Tk; \quad 3\frac{\partial\sigma_0}{\partial\alpha}=-\rho\frac{\partial T}{\partial\rho}k'-2\frac{\partial T}{\partial\alpha}k-4Tk'. \quad (3.10)$$

Продифференцируем первое равенство (3.10) по α , а второе - по ρ .

$$3\frac{\partial^2\sigma_0}{\partial\rho\partial\alpha}=2\frac{\partial^2T}{\partial\rho\partial\alpha}k+2\frac{\partial T}{\partial\rho}k'-\frac{1}{\rho}\frac{\partial^2T}{\partial\alpha^2}k'-\frac{2}{\rho}\frac{\partial T}{\partial\alpha}k''-\frac{1}{\rho}Tk''' +\frac{4}{\rho}\frac{\partial T}{\partial\alpha}k+\frac{4}{\rho}Tk'; \quad (3.11)$$

$$3\frac{\partial^2\sigma_0}{\partial\rho\partial\alpha}=5\frac{\partial T}{\partial\rho}k'-\rho\frac{\partial^2T}{\partial\rho^2}k'-2\frac{\partial^2T}{\partial\rho\partial\alpha}k-4\frac{\partial T}{\partial\rho}k'.$$

Приравняв друг другу правые части выражений (3.11), получим следующие дифференциальное уравнение:

$$4\frac{\partial^2T}{\partial\rho\partial\alpha}k+7\frac{\partial T}{\partial\rho}k'+\rho\frac{\partial^2T}{\partial\rho^2}k'-\frac{1}{\rho}\frac{\partial^2T}{\partial\alpha^2}k'-\frac{2}{\rho}\frac{\partial T}{\partial\alpha}k''-\frac{1}{\rho}Tk''' +\frac{4}{\rho}\frac{\partial T}{\partial\alpha}k-\frac{4}{\rho}Tk'=0. \quad (3.12)$$

Несложно показать, что уравнение (3.12) удовлетворяется при условии, что разрешающая функция $k=k(\alpha)$ будет определяться интегрированием однородного дифференциального уравнения

$$k''' + 4k' = 0. \quad (3.13)$$

Решение уравнения (3.13) имеет вид

$$k(\alpha)=\frac{1}{2}c_1\sin 2\alpha-\frac{1}{2}c_2\cos 2\alpha+c_3, \quad (3.14)$$

где c_1, c_2, c_3 - произвольные постоянные интегрирования.

Одно граничное условие в форме равенства нулю касательного напряжения при $\alpha = 0$ можно записать в форме $\tau_{\rho\alpha}|_{\alpha=0} = 0$. (3.15)

Это условие равносильно $k'(0)=0$ (третья формула (3.8) и, естественно, получается, что $c_0 = 0$. С учетом этого будем иметь

$$k(\alpha) = \frac{1}{2} c_1 \sin 2\alpha + c_3. \quad (3.16)$$

Далее полагаем, что контактное усилие равняется действующему касательному напряжению, которое составляет часть максимального касательного напряжения [7].

Иными словами

$$\tau_{\rho\alpha} \bigg|_{\alpha=\frac{\alpha^*}{2}} = -\chi \tau_{\max} \bigg|_{\alpha=\frac{\alpha^*}{2}}, \quad (3.17)$$

где χ - коэффициент пропорциональности, устанавливаемый экспериментально, причем знак (-) относится к зоне отставания, а знак (+) к зоне опережения.

Величина $\tau_{\max}$ определяется известной формулой:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{\rho} - \sigma_{\alpha})^2 + 4\tau_{\rho^2\alpha}}. \quad (3.18)$$

Подставляя в (3.17), (3.18) компоненты напряжений (3.8) при $\alpha = \frac{\alpha^*}{2}$, после несложных преобразований получим формулу связи

между постоянными c_1 и c_2 в виде

$$c_3 = \frac{c_1}{2} \psi(\alpha^*, \chi), \quad (3.19)$$

где для $\psi(\alpha^*, \chi)$ получено выражение

$$\psi(\alpha^*, \chi) = \frac{\sqrt{1-\chi^2}}{\chi} \cos \alpha^* - \sin \alpha^*. \quad (3.20)$$

С учетом (3.19), (3.20) функция $k = k(\alpha)$ (3.18) принимает вид

$$k(\alpha) = \frac{c_1}{2} (\sin 2\alpha + \psi). \quad (3.21)$$

Очевидно, что явное выражение для разрешающей функции $k = k(\alpha)$ будет установлено после определения постоянной c_1 .

4. Анализ поля скоростей перемещений и деформаций.

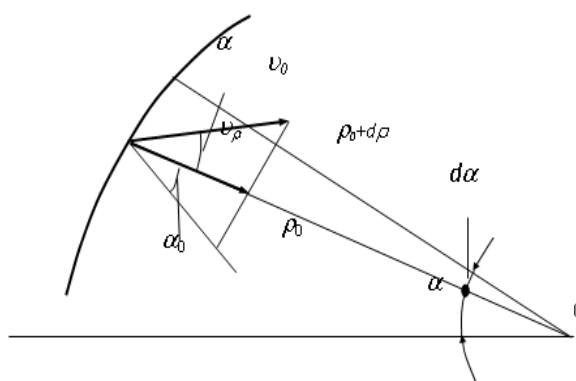


Рис.3 К выводу уравнения поверхности разрыва скоростей перемещений

Считаем [1,8], что очаг деформации представляется в форме клина, ограниченного двумя поверхностями разрыва скоростей $\rho_1 = \rho_1(\alpha)$, $\rho_2 = \rho_2(\alpha)$ (рис.2). Для определения уравнений указанных поверхностей запишем сначала условия равенства скоростей, нормальных поверхности разрыва слева и справа на входе в валки (рис.3). Имеем

$$v_0 \cos(\alpha + \alpha_\rho) = v_\rho \cos \alpha_\rho, \quad (4.1)$$

причем v_0 будем рассматривать как среднюю скорость перемещения металла на входе в очаг деформации, а v_ρ , как и выше, скорость радиального перемещения.

Далее, решая (4.1) относительно v_ρ , получаем:

$$v_\rho = v_0 (\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha_\rho), \quad (4.2)$$

Здесь[5]
$$\operatorname{tg} \alpha_\rho = -\frac{d\rho_1}{\rho_1 d\alpha}. \quad (4.3)$$

Поскольку для величины v_ρ записано выражение (3.2), то используя (4.2) и (4.3)

$$\frac{k(\alpha)}{\rho_1} = v_0 \left(\cos \alpha + \sin \alpha \frac{d\rho_1}{\rho_1 d\alpha} \right);$$

или

$$\frac{k(\alpha)}{\rho_1} = v_0 \left(\cos \alpha + \sin \alpha \frac{\rho_1'}{\rho_1} \right). \quad (4.4)$$

После приведения (4.4) к общему знаменателю правую часть выражения (4.4) можно свернуть и переписать так

$$k(\alpha) = v_0 (\rho_1 \sin \alpha)'. \quad (4.5)$$

Интегрируя (4.5), будем иметь

$$\int_0^\alpha k(\alpha) d\alpha = v_0 \rho_1 \sin \alpha. \quad (4.6)$$

Левая часть равенства (4.6) легко вычисляется, если подставить в него (3.24) имеем

$$\frac{c_1}{2} \int_0^\alpha (\sin 2\alpha + \psi) d\alpha = \frac{c_1}{4} (2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha). \quad (4.7)$$

Приравнявая друг другу (4.6) и (4.7), для функции $\rho_1 = \rho_1(\alpha)$ получаем

$$\rho_1 = \frac{c_1}{4v_0} \frac{2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha}{\sin \alpha}. \quad (4.8)$$

Аналогично (4.8), получаем уравнение для поверхности разрыва скоростей на выходе из валков в виде

$$\rho_2 = \frac{c_1(1 - \Lambda)}{4v_0} \frac{2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha}{\sin \alpha}, \quad (4.9)$$

где Λ - обжатие полосы (1.1), причем уравнение (4.9) получено с привлечением условия несжимаемости.

Вычислим теперь секундный объем, проходящий через поверхность $\rho_1 = \rho_1(\alpha)$ в очаге деформации

$$W_c = \iint_A v_\rho \Big|_{\rho=\rho_1} dA, \quad (4.10)$$

Здесь A - площадь поверхности $\rho_1 = \rho_1(\alpha)$.

Если учесть, что в цилиндрических координатах элемент площади $dA = \rho d\alpha dz$, то для секундного объема, приходящегося на единицу ширины полосы, получим

$$W_c = 2 \int_0^{\alpha^*} \nu_\rho \Big|_{\rho=\rho_1} \rho_1 d\alpha. \quad (4.11)$$

Примем во внимание формулу (3.2), которая при $\rho = \rho_1$ будет иметь вид

$$\nu_\rho \Big|_{\rho=\rho_1} = \frac{k(\alpha)}{\rho_1}. \quad (4.12)$$

Подставив (4.12) в (4.11), можем записать

$$W_c = 2 \int_0^{\alpha^*} k(\alpha) d\alpha. \quad (4.13)$$

Определенный интеграл (4.13) будет, используя (4.7), равен

$$W_c = \frac{c_1}{2} (\psi \alpha^* + 1 - \cos \alpha^*). \quad (4.14)$$

Воспользовавшись теперь теоремой о среднем, получим

$$2 \int_0^{\alpha^*} k(\alpha) d\alpha = \nu_0 \alpha^*. \quad (4.15)$$

Из сопоставления (4.14) и (4.15) установим величину c_1 , которая будет определяться выражением

$$c_1 = \frac{\nu_0}{\bar{\psi}}, \quad (4.16)$$

где

$$\bar{\psi} = \frac{\alpha^*}{1 + \psi \alpha^* - \cos \alpha^*}, \quad (4.17)$$

причем для $\psi = \psi(\alpha^*, \chi)$ имеем выражение (3.23).

Теперь в окончательном выражении можно привести формулы для определения

– разрешающей функции

$$k(\alpha) = \frac{v_0}{\bar{\psi}} (\sin 2\alpha + \psi); \quad (4.18)$$

– скорости радиального перемещения

$$v_\rho = \frac{v_0}{\bar{\psi}\rho} (\sin 2\alpha + \psi); \quad (4.19)$$

– функции $\rho_1(\alpha)$, $\rho_2(\alpha)$, ограничивающихся в радиальном направлении очаг пластической деформации

$$\rho_1(\alpha) = \frac{2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha}{2\bar{\psi} \sin \alpha}; \quad \rho_2(\alpha) = (1 - \Lambda) \frac{2\psi\alpha - 1 - \cos 2\alpha}{2\bar{\psi} \sin \alpha}; \quad (4.20)$$

– скоростей деформаций

$$\dot{\epsilon}_\rho = -\frac{v_0}{\rho^2 \bar{\psi}} (\sin 2\alpha + \psi); \quad \dot{\epsilon}_\alpha = \frac{v_0}{\rho^2 \bar{\psi}} (\sin 2\alpha + \psi); \quad \dot{\epsilon}_{\rho\alpha} = \frac{2v_0}{\bar{\psi}} \cos 2\alpha. \quad (4.21)$$

Здесь для $\psi = \psi(\alpha^*, \chi)$, $\bar{\psi} = \bar{\psi}(\alpha^*, \bar{\psi})$ соответственно получено (3.23), (4.17).

Автор выражает благодарность проф. Рудаеву Я.И. и доц. Сулаймановой С.М. за оказанную помощь в этой работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малинин Н.Н. Технологические задачи пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1979.-119с.
2. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009.-400с.
3. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства. – СПб: Наука, 2005. – 540с.

4. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Наука, 1969. –
5. Соколовский В.В. теория пластичности. – М: - Высшая школа, 1969.- 608с.
6. Рудской А.И.. Рудаев Я.И. Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов. – СПб.: Наука. – 218с.
7. Кийко И.А. Пластическое течение металлов/ Научные основы прогрессивной техники и технологий. – М.: Машиностроение, 1985. – 105-133с.
8. Рудаев Я.И. Моделирование прессопрокатки листа с использованием сверхпластичности./ Научно-технические ведомости СПО ГПУ. – 2005.- №2. – 57-64с.

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ташмаматов А. С.

КГТУ им. И. Раззакова

В последнее время довольно часто рассматривается вопрос об одном, но достаточно важном виде напряжений из области механики: остаточных, внутренних, или предварительных напряжениях. Предварительными, или остаточными, обычно называют напряжения, существующие в конструкции или природном теле при отсутствии внешних силовых, тепловых и других воздействий. Называют их также собственными, внутренними и технологическими напряжениями /1/.

В технике для обозначения остаточных напряжений используют названия процессов, приводящих к их образованию: сварочные напряжения, закалочные напряжения и т.д. Такое разнообразие в названиях не вредит существу дела, а иногда даже лучше характеризует сущность рассматриваемого явления. Остаточные напряжения важны даже в струнах музыкальных инструментов, тетиве спортивного лука, спицах велосипедных колес, болтах и гайках, которыми притягиваются крышки к резервуарам с высоким давлением, в длиннопролетных мостах, закаленных стеклах транспортных средств, строительных, машиностроительных конструкциях и т.д. Они практически всегда возникают в процессах литья,ковки, прокатки, сварки, термообработки и др., а также при жестком соединении разных материалов. Остаточные напряжения есть в керамике, стекле и полимерах, в изделиях элек-

тронной промышленности, энергетического и транспортного машиностроения /2/.

Как нам известно, остаточное напряжение - это силовое поле, и в зависимости от направлений силовых линий различаются как сжимающие и растягивающие.

Изучая влияние остаточных сварочных напряжений на ресурс конструкции, исследователи отмечают, что оценка ресурса конструкции, на стадии развития установленной трещины, связано с ниже перечисленными особенностями /3,4/:

- неоднородность поля остаточных напряжений по толщине элемента конструкции приводит во многих случаях к криволинейности траектории развития трещины;
- по мере развития трещины происходит перераспределение остаточных напряжений, обусловленное изменением жесткости конструкции. Поэтому развитие трещин по «замороженному» полю может приводить к не консервативной оценке ресурса конструкции;
- взаимодействие поля остаточных сварочных напряжений с полем от эксплуатационной циклической нагрузки с постоянной асимметрией нагружения может приводить к существенному изменению асимметрии нагружения в вершине трещины по мере ее развития.

Остаточные напряжения, возникающие в изделиях практически во всех технологических процессах, существенно влияют на механическую работу конструкций. Во многих случаях остаточные напряжения играют отрицательную роль. При воздействии силовых и температурных нагрузок, суммируясь с напряжениями от внешней нагрузки, остаточные напряжения могут привести к разрушению, потере устойчивости, искривлениям и т.д. Однако известно немало случаев, когда остаточные напряжения играют положительную роль, что позволяет без повышения металлоемкости изделий повысить их эксплуатационные характеристики. Умелое применение внутреннего напряженного со-

стояния в материалах и конструкциях может дать большие выгоды их создателям.

К сожалению, отрицательную роль остаточные напряжения играют чаще, чем хотелось бы. В технике достаточно примеров разрушений, вызванных большими технологическими напряжениями. Одни из наиболее частых со значительными экологическими последствиями — это разрушения газовых трубопроводов, в которых образуются трещины длиной иногда до нескольких десятков метров. Внезапные разрушения строительных конструкций, появление и развитие трещин на лобовых стеклах автомобилей, дорогостоящих заготовках крупногабаритных зеркал телескопов, хрустальной посуде, саморазрушение огнеупорных блоков для стенок стекловаренных печей, лежащих в спокойном состоянии на складе - процессы весьма не желательные. В кристаллах, например, источниками внутренних напряжений являются такие дефекты кристаллического строения как: точечные, линейные, плоские и объемные. Остаточные напряжения, главным образом, обусловлены неоднородными упруго - пластическими деформациями твердого материала (искажениями кристаллической решетки). В свою очередь, искажения решетки вызываются дефектами в кристаллах и неоднородностью их распределения. Искращения первого и второго рода, которые соответствуют одноименным напряжениям, могут быть связаны с дислокациями, границами зерен, межфазными границами, микротрещинами и т.п. Искращения третьего рода обусловлены, как правило, точечными дефектами, вакансиями, растворенными атомами неоднородности твердого тела, неоднородности пластической деформации, термомеханического воздействия. При выбуривании керна горной породы из глубоких скважин куски керна после их извлечения получают значительную разгрузку от внутренних напряжений, расслаиваются и могут даже "взрываться" (керна сверхглубоких скважин).

В сущности, указанные разрушения и породили научное направление по изучению остаточных технологических напряжений и способов их регулирования. Эти напряжения могут быть одной из главных причин техногенных аварий и разрушений, надежных на первый взгляд конструкций в технике и в быту, тем не менее, ни один стандарт не устанавливает предельно допустимых значений для таких напряжений. Не существует и нормативных документов по учету остаточных напряжений при проектных прочностных расчетах конструкций. В связи с этим разработка методов измерения остаточных напряжений и находить способы управления технологическими процессами и вызываемыми ими напряжениями для улучшения качества изделий и надежности их работы в настоящее время является актуальной задачей. В последние годы в таких странах как Россия, Украина и США ученые особое внимание уделяют на экспериментальное изучение таких напряженных состояний. Но на сегодняшний день результаты исследований не может дать полную характеристику влияния остаточных напряжений на прочность конструкций и изделий /2/.

При создании определенной конструкции разработчики рассчитывают соответствующие прочности детали. Но при расследовании причин некоторых аварий обнаруживаются огромные остаточные напряжения, превышающие предел прочности детали, которые не учитывались. Основным условием существования остаточных напряжений является их относительное равновесие, при нарушении которой остаточные напряжения проявляются в виде деформации или разрушения материала. Как известно, одним из методов снятия остаточных напряжений является вибрационное действие на твердый материал /5-6/.

Для исследований нами остаточные напряжения в горных породах были созданы путем теплового воздействия. Остаточные напряжения в горных породах возникают вследствие неравномерного охлаждения

ния поверхности, изменения объема. Неодинаковое распределение температур по объему горной породы при быстром охлаждении сопровождается и неравномерным изменением объема. Поверхностные слои сжимаются быстрее, чем внутренние. Однако сжатию поверхностных слоев препятствуют внутренние слои. Это приводит к тому, что в поверхностных слоях образуются временные (т.е. исчезающие после снятия нагрузки) сжимающие, а во внутренних слоях растягивающие напряжения. Если величина остаточных напряжений превышает сопротивление отрыву и горная порода мало пластична, то это вызывает образование трещин. Наиболее опасны при этом растягивающие напряжения на поверхности, которые способствуют образованию трещин и снижают предел прочности горных пород.

Все образцы горных пород были изготовлены и термически обработаны по единой методике. Термической обработке подвергались образцы цилиндрической формы (диаметр 42 мм, высота 84 мм.), изготовленные из гранита месторождения Кыртабылгы (температура нагревания образца 700-850К с последующим резким охлаждением). Для оценки влияния остаточного напряжения на деформацию и разрушение горных пород экспериментальные исследования проводились в стандартных условиях одноосного статического сжатия образцов цилиндрической формы. Опыт по испытанию образцов при одноосном статическом сжатии проводится так, что в процессе нагружения фиксируются зависимости от действующего напряжения деформации в продольном и поперечном направлении. В качестве примера, полученные графики зависимостей компонент деформации от сжимающего напряжения для гранита месторождения Кыртабылгы (исходный, термообработанный) представлены на рисунках 1 - 4.

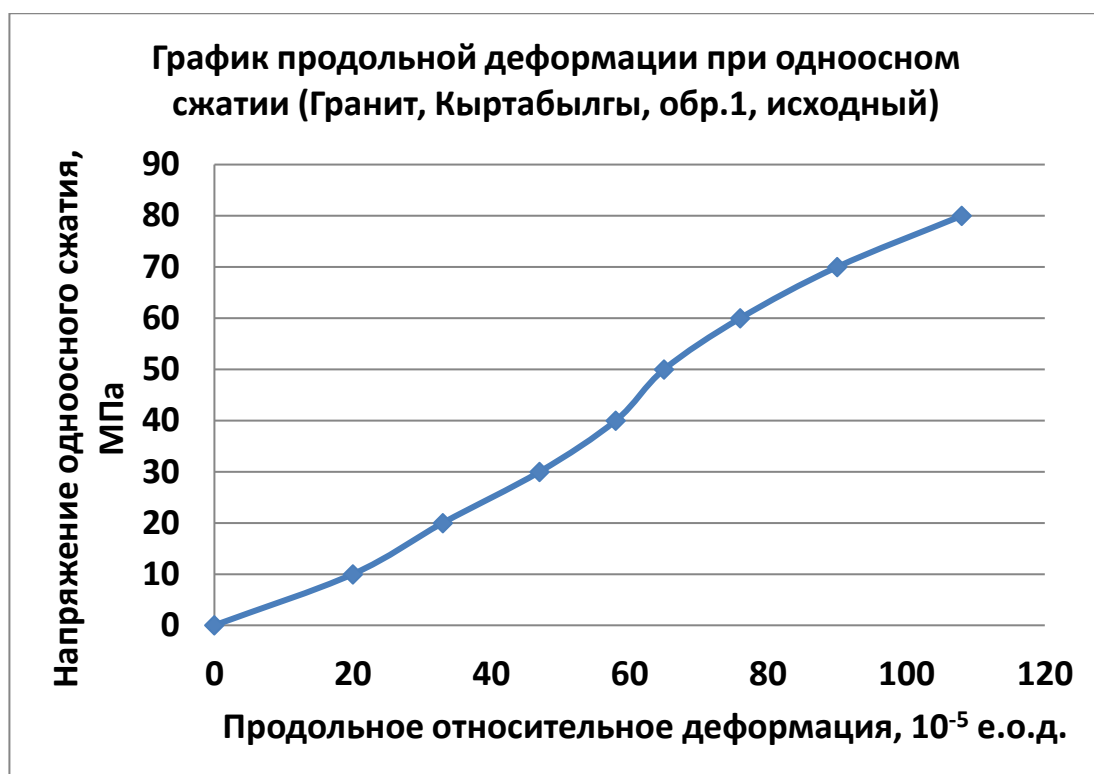


Рис.1

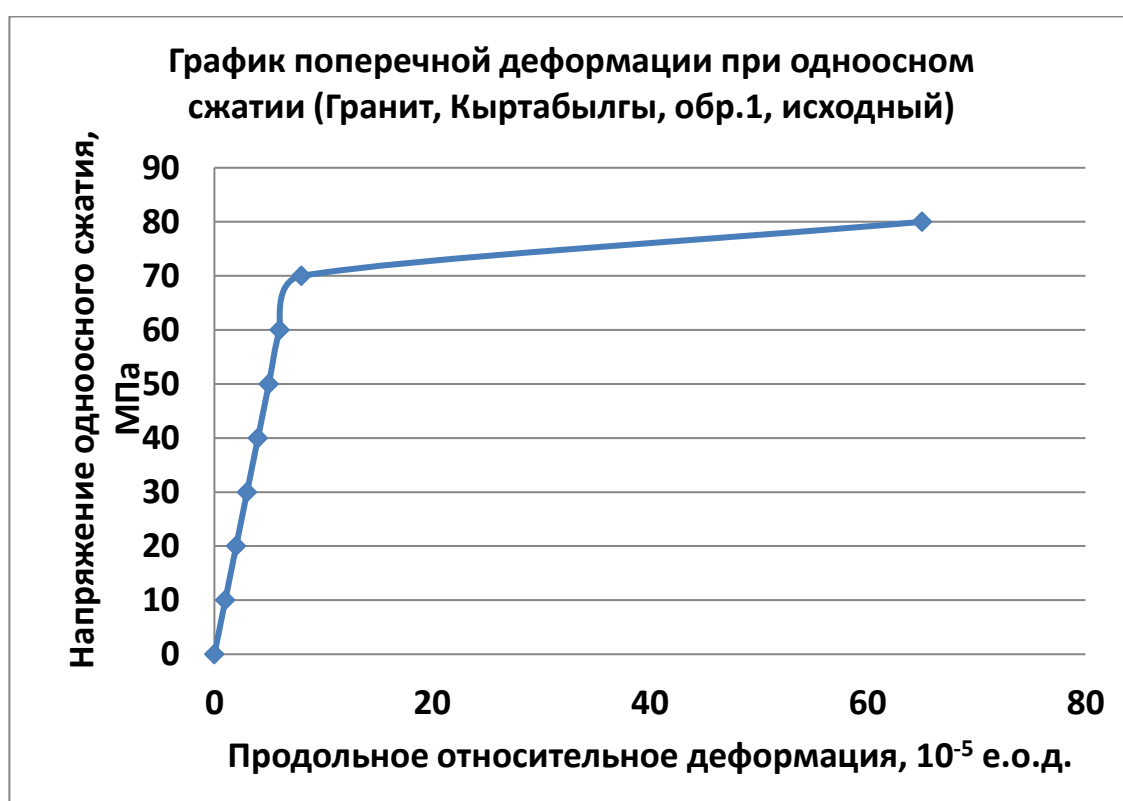


Рис.2



Рис.3

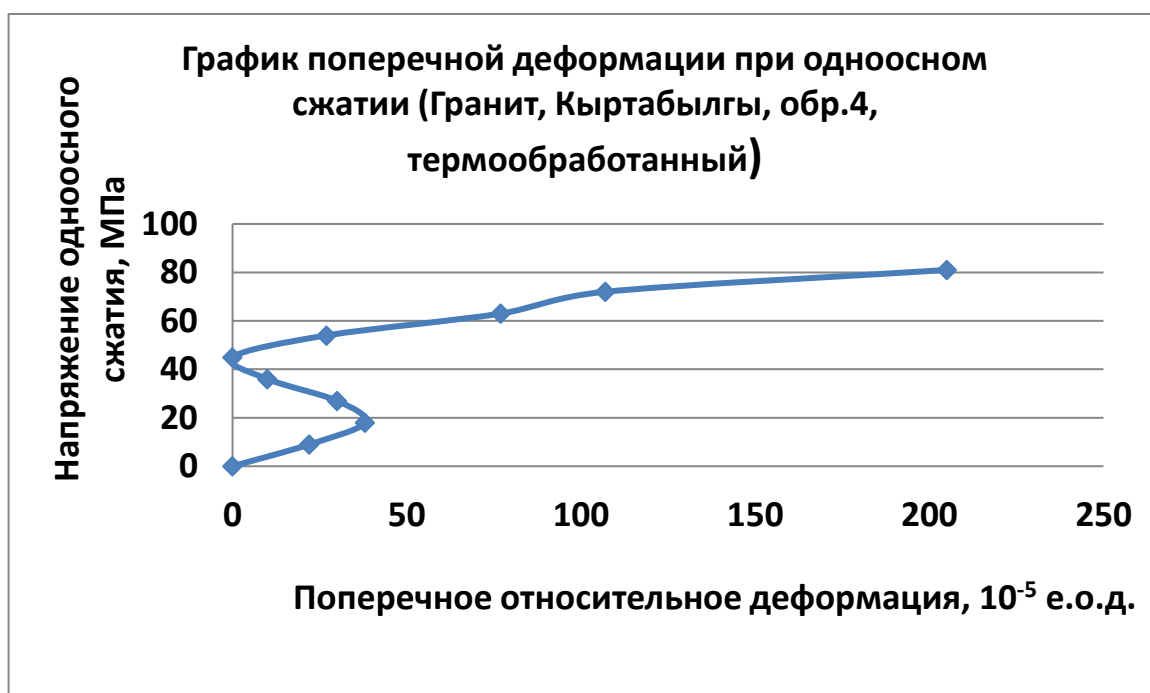


Рис.4

Исходя из данных рисунков 1 и 2, по деформационным параметрам можно отметить, что исходный образец гранита месторождения

Кыртабылгы представляет квазиоднородную породу с обычными линейными зависимостями продольной и поперечной деформации.

Поперечная деформация термообработанного образца гранита месторождения Кыртабылгы имеет аномальный характер (рис.4), т.е. происходит скачкообразное и знакопеременное ее изменение в условиях одноосного сжатия: сначала поперечное расширение, затем поперечное сжатие до исходного нулевого состояния. При одинаковых уровнях приложенного напряжения продольная деформация термообработанного образца почти в 3 раза больше чем продольная деформация исходного образца. Эти результаты свидетельствуют о значительном вкладе остаточных напряжений в деформацию. Данные результаты согласуются с результатами измерения остаточных напряжений в термообработанных образцах гранита Кыртабылгы методом импульсного нагружения, а также с результатами, полученными К.Т. Тажибаевым [7] при испытаниях образцов, имеющих остаточные напряжения.

Выводы:

1. При одинаковых уровнях приложенного напряжения продольная деформация термообработанных образцов в 3 раза больше чем продольная деформация исходного образца, при этом прочность термообработанных образцов уменьшается только на 30-40%, и сравнивая величину продольной деформации исходных и термообработанных образцов можно отметить, что - чем больше разность, тем выше уровень остаточного напряжения.
2. Остаточные напряжения, высвободившиеся вследствие нарушения равновесия внешней нагрузкой, являются главной причиной аномальных поперечных и необычно интенсивных продольных деформаций горной породы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М. : Машгиз, 1963. -232с.
2. Г.Н. Чернышев, А.Л. Попов, В.М. Козинцев. Полезные и опасные остаточные напряжения « Природа» №10, 2002 г. с.17–24.
3. Карзов Г.П., Кархин В.А., Леснов В.П., Марголин Б. Расчетное определение траектории трещин и интенсивности высвобождения упругой энергии при циклическом нагружении с учетом сварочных напряжений/ Проблемы прочности. 1983 №9 – С. 104-108.
4. Карзов Г.П., Кархин В.А., Леснов В.П., Марголин Б. 3. Развитие усталостных трещин в тавровых соединениях с учетом сварочных напряжений/ Проблемы прочности. 1983, №11, -С. 70-73.
5. «Эффективность» низкочастотной вибрационной обработки изделия по технологии ПД5Р. ГКЛИО 104-216-95 //Публикация в Интернет-СМИ
6. Колот В. А. Применение ресурсосберегающих вибрационных и отделочно-упрочняющих методов обработки нежестких деталей в тяжелом машиностроении // Технология, экономика, организация производства и управления. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаша, 1991. –сер.8, вып. 24. – 56 с.
7. Тажибаев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. – Фрунзе: Илим, 1989. – 179 с.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1561 В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ

Пазылов Ш.Т., Бакиров Ж.Т., Арзыматов А.К.

КРСУ им. Б.Н.Ельцина, КГУСТА им. Н.И.Исанова, ОшТУ, г. Ош

Рассмотрена связь между структурой сплава 1561 и его механическими свойствами при различных температурах испытания на растяжения в литом состоянии.

Одной из важнейших научных и прикладных проблем в производстве металлических сплавов является проблема качества литого металла. Для металловедения главным в ней является знание структуры литого металла и умение управлять последней с тем, чтобы обеспечить наилучшую конечную структуру и свойства изделия после различных обработок литой заготовки. Во многих работах затрагивались вопросы наследственного влияния литой структуры на конечную структуру и свойства отливок и деформированных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Однако эти вопросы не были обобщены с использованием данных о микро и субструктуре литых сплавов и ее трансформации при последующих обработках //.

Изменение исходной текстурированной структуры листового алюминиевого сплава 1561 происходящие в результате высокотемпературного растяжения рассмотрены в /2/. Обнаружены, что отличаю-

щиеся между собой различные (полосчатый, равноосный и мелкозернистый) типы полученных структур зависит от температурных и скоростных условий деформирования. Найдены термомеханические интервалы соответствующие формированию оптимальной микроструктуры сплава. В [3] изучены влияние неоднородности литой структуры сплава 1561 на его деформационные показатели при температурно-скоростных испытаниях на растяжение. Установлено, что деформирование при повышенных температурах приводит к устранению различий деформационных свойств обусловленными исходными структурными состояниями. При этом вопросы влияния режимов деформирования на изменения литой структуры и зависимости их качественных изменений от уровня температур и величин скоростей деформирования для данного сплава остается не рассмотренной. Подобные исследования другими исследователями также пока не проводились.

В работе ставится экспериментальная задача изучения влияния термомеханических условия нагружения на изменения литой структуры сплава 1561. Обсуждаются данные исследования его микроструктуры и деформационных свойств при близких к статическим значениям ($2,3 \cdot 10^{-5}$ м/с) скоростей деформирования.

Проведенные исследования по определению механических свойств сплава 1561 и изучению его структуры в условиях температурно-скоростного деформирования показали следующие результаты. С повышением температуры испытания резко падают прочностные свойства сплава (табл.1). Пластичность сплава возрастает до температуры испытания 693°K , а затем быстро падает более чем в два раза при 773°K (табл.1).

Таблица 1

Механические свойства сплава 1561 после высокотемпературных испытаний на растяжение при скорости деформирования $V_6=0,0228\text{мм/с}$

Температура испытания	293 ⁰ K	533 ⁰ K	693 ⁰ K	733 ⁰ K	773 ⁰ K
Условный предел прочности σ_B , (МПа).	325	152	40	28	18
Относительные удлинения δ , (%).	12	15	22	13	9

Микроструктура сплава 1561, наблюдаемая до деформирования, а также после испытания на растяжение при температурах 293⁰K и 533⁰K является почти одинаковой, без каких либо существенных различий (рис.1, рис.2а и рис.3а). При внимательном рассмотрении структуры видны частицы алюминидов переходных металлов в виде интерметаллидных соединений, содержащие марганец, цирконий и кремний, равномерно распределенные в объеме зерна. Их количество значительно меньше содержится в приграничных зонах, которые отчетливо видны как светлые участки структуры, являющиеся бывшими приграничными зонами дендридных ячеек до проведения гомогенизационного отжига.

С повышением температуры испытания наблюдается раздробление светлых участков и коагуляция частиц алюминидов переходных металлов (рис.2б, в, г и рис.3б, в, г). Следует отметить одинаковость структуры сплава как в продольном, так и в поперечном сечениях образца при всех температурах испытания. Гетерогенизация структуры при гомогенизационном отжиге может сильно влиять на поведение сплава при последующей обработке и на свойства изделий/4/.

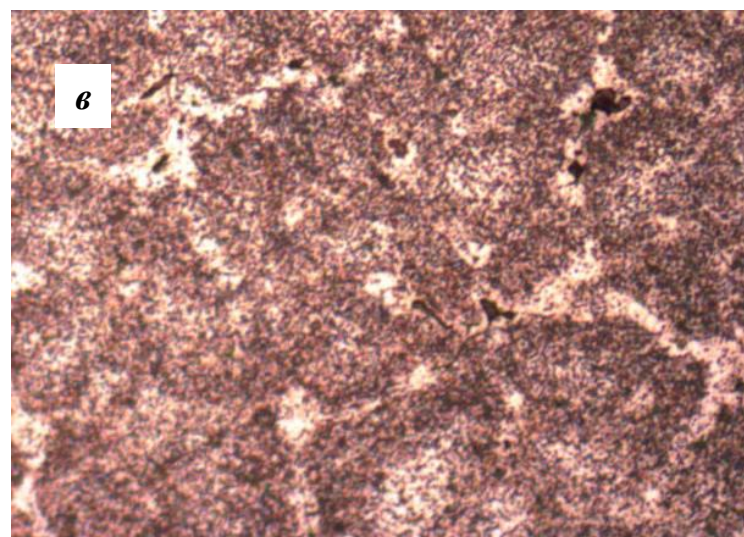
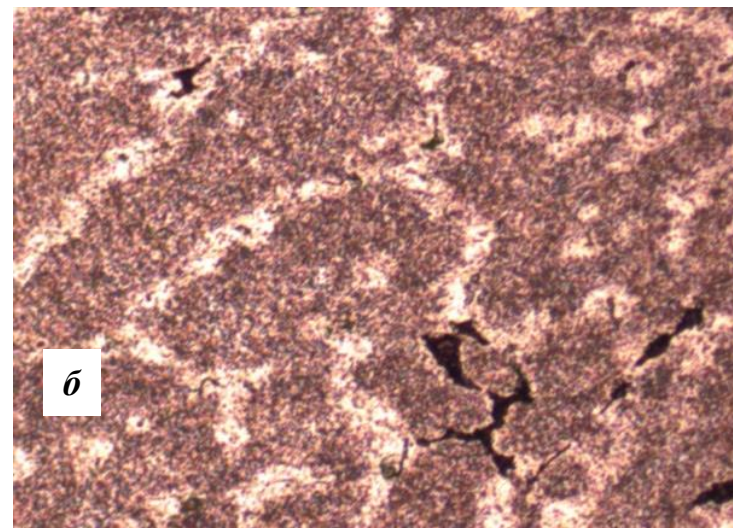
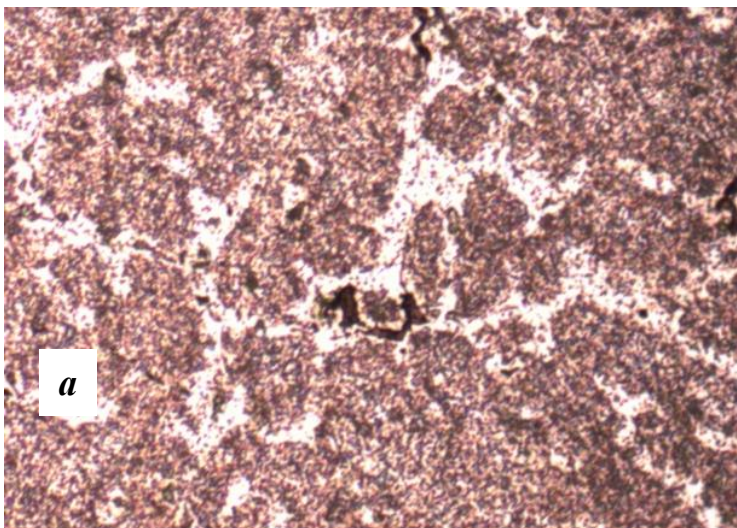


Рис. 1. Микроструктура сплава 1561 до и после испытания при комнатной температуре со скоростью деформирования $V_6=0.0228\text{мм/с}$: *а* –до испытания; *б* –продольное сечение после испытание; *в* –поперечное сечение после испытание. 200*.

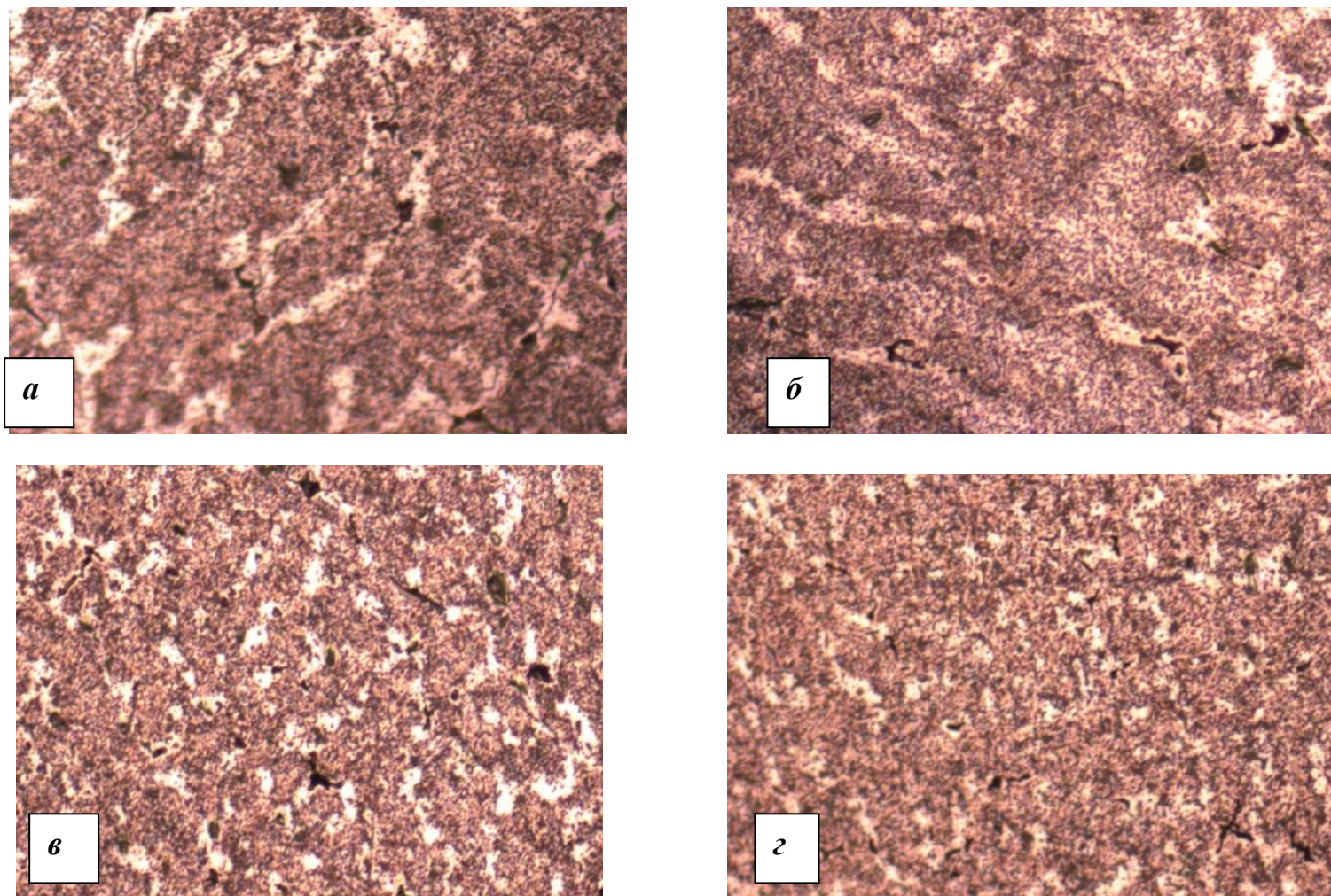


Рис. 2. Микроструктура сплава 1561 в условиях температурно-скоростного деформирования (при V_6) в продольном сечении: а - 533°K; б - 693°K; в - 733°K; г - 773°K. 200*.

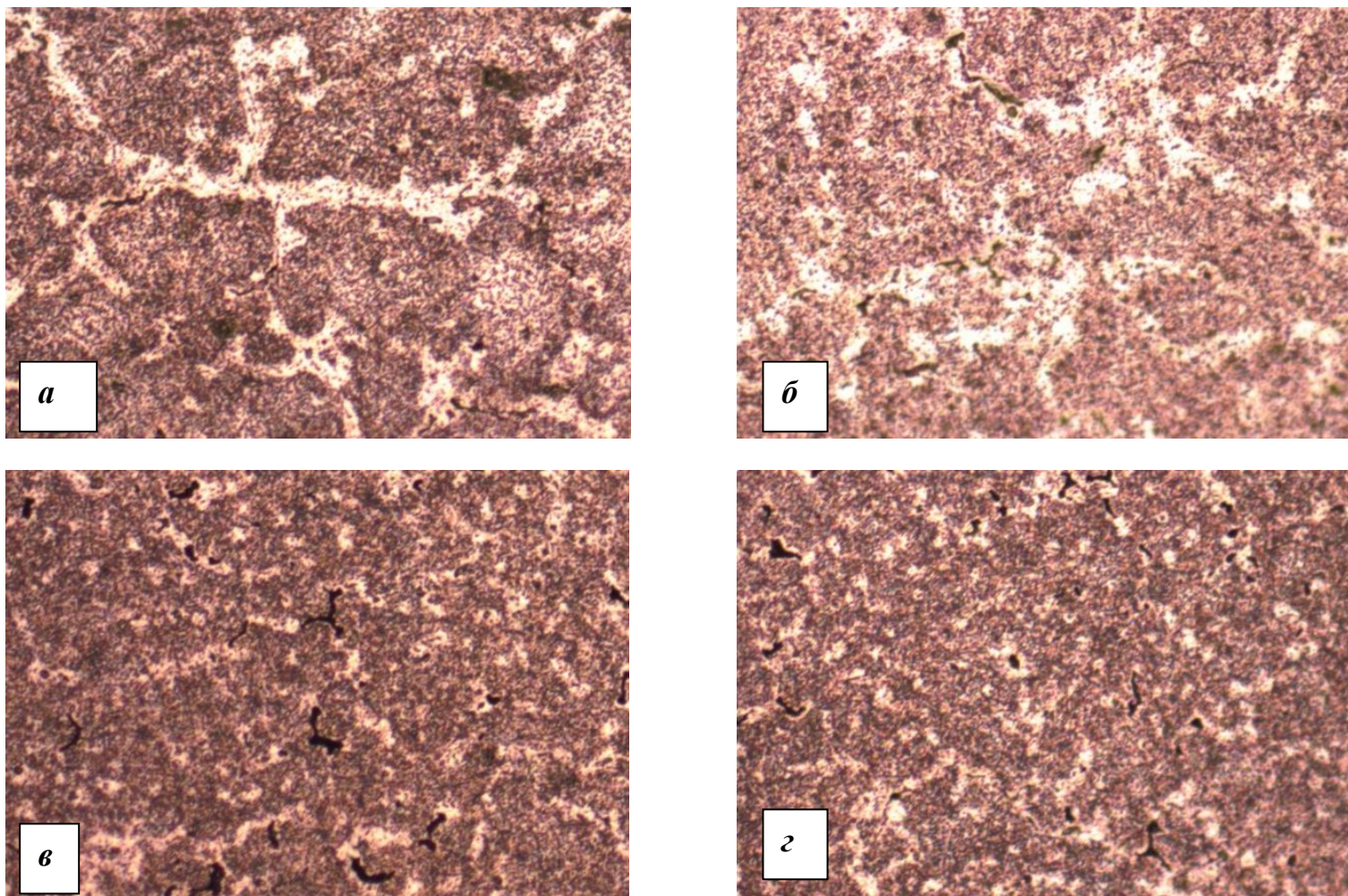


Рис. 3. Микроструктура сплава 1561 в условиях температурно-скоростного деформирования (при V_6) в поперечном сечении: а - 533°K; б - 693°K; в - 733°K; г - 773°K. 200*.

Снижение прочностных свойств сплава 1561 с повышением температуры испытания можно объяснить, во-первых коагуляцией (укрупнением) частиц алюминидов переходных металлов (Mn,Zr), т.е. снижением их плотности в объеме зерна и во-вторых, образованием в сплаве в начале ячеисто-полигонизованной субструктуры, а затем рекристаллизованной структуры /5/. Кроме того, чем выше температура испытания и ниже скорость деформации, тем крупнее и совершеннее рекристаллизационные зерна /6/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Металловедение алюминия и его сплавов. Под ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1971.
2. «Структура алюминиевого сплава 1561 в условиях температурно-скоростного деформирования». Ж.Т. Бакиров, Н.А. Оморев, Ш.Т. Пазылов. Известия КГТУ им. И.Раззакова, № 24. Материалы Международной конференции «Информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании» г. Бишкек, 5-9 октября 2011г.
3. «Изучение деформационных свойств алюминиевого сплава 1561 в литом состоянии». Ш.Т. Пазылов, Н.А. Оморев, Я.И. Рудаев. «Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета». – Т.3. – №5. – Бишкек, 2010. – С.143-150.
4. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов.- М.:Металлургия, 1986.
5. Золоторевский В.С. Структура и прочность литых алюминиевых сплавов.-М.: Металлургия,1981.
6. Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов.- М.:Металлургия,1977.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ

Абдиева Л.К.

КГУСТА им. Н. Исанова

В данной статье рассматривается применение алгоритма случайного поиска в задаче оптимального проектирования конструкций.

Широкий класс задач, встречающихся при оптимальном проектировании конструкций, может быть математически сформулирован в виде задач нелинейного программирования, т.е. задач поиска экстремума целевой функции нескольких переменных

$$Z = Z(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Множество Ω независимых переменных $x=(x_1; x_2; \dots; x_n)$ представляет собой часть многомерного евклидова пространства, которая определяется ограничениями, накладываемыми на независимые переменные. Ограничения могут быть представлены в виде равенств:

$$y_i(x) = 0 \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (2)$$

или неравенств:

$$y_i(x) \leq 0, \quad (3)$$

или же тех и других одновременно.

Целевая функция (1) и ограничения (2), (3) очень часто являются нелинейными, невыпуклыми и трудновычислимыми соотношениями. В таких случаях функция z обычно имеет на множестве Ω несколько локальных экстремумов. При решении таких задач «регулярные» методы поиска экстремума, в которых положение точки x в множестве Ω однозначно определяет весь дальнейший ход решения, например метод

динамического программирования, обычно требуют больших затрат машинного времени и сложны для применения. Поэтому в таких случаях применяется другой подход, связанный с введением элемента случайности в алгоритм поиска. Эта случайность оправдывается отсутствием информации о поведении объекта.

В ряде случаев введение такого поведения дает возможность построить весьма простые и эффективные алгоритмы случайного поиска, которые в некоторых случаях и по определенным критериям не только соперничают, но и превосходят регулярные алгоритмы поиска.

Идея метода случайного поиска заключается в отыскании оптимального значения целевой функции путем случайного совокупности значений независимых переменных, принадлежащих области допустимых значений Ω . Перебор при поиске минимума может осуществляться следующим образом:

1. Вычисляется значение случайной векторной величины $x=(x_1; x_2; \dots; x_n)$, которая распределена с какой-нибудь плотностью вероятностей во множестве Ω . Например, равномерное распределение случайной величины x означает, что вероятность попадания этой величины в любую точку множества Ω одинакова.
2. Вычисляется значение целевой функции в полученной случайной точке. Если оно меньше, чем значение в предыдущей точке, то новую точку следует запомнить, а старую забыть; затем проверить условие остановки и перейти к п.1.

Такой перебор, очевидно, приводит к цели не быстрее полного перебора в какой-нибудь регулярной последовательности.

Возможны и другие алгоритмы перебора, например движение с заданным шагом в случайном направлении.

Большие возможности ускорения сходимости алгоритмов случайного поиска заложены в их способности к самообучению. Самообучение

означает изменение закона распределения случайной величины x на множестве Ω в зависимости от результатов предшествующих испытаний. Например, для описанного выше алгоритма самообучение может означать увеличение вероятности попадания случайной величины x в область, близкую к точке наименьшего, найденного к данному моменту, значения целевой функции z , т.е. изменение закона распределения случайной величины в зависимости от результатов предыдущих испытаний. Сходимость метода случайного поиска определяется законом больших чисел; вероятность попадания в достаточно малую окрестность оптимальной точки близка к единице при достаточно большом числе испытаний. Практическое применение указанного метода возможно только с использованием вычислительных машин.

Простейшим алгоритмом случайного поиска с самообучением является поиск с распределением типа «локона Аньезе» [2], который служит для отыскания переменной x на отрезке $[x_1, x_2]$. Этот алгоритм позволяет «стягивать» равномерно распределенную случайную величину ξ к вычисленному на предыдущих шагах поиска оптимальному значению x в соответствии с формулой

$$\xi_1 = x + (\xi - x) / (1 + e (\xi - x)^2),$$

где e – параметр самообучения. В начале поиска $e = 0$, и приведенная формула определяет тождественное преобразование переменной ξ . В процессе поиска e изменяется по формуле

$$e_1 = e + 0,1 / (x_2 - x_1)^2.$$

Таким образом, в ходе поиска стягивание производится все сильнее и сильнее. В качестве начального приближения для x можно принять: $x = 0,5 (x_2 + x_1)$.

Для многомерного поиска с допустимой областью в виде параллелепипеда указанная процедура производится с каждой переменной.

В качестве примера рассмотрим следующую задачу: заданы схема и две нагрузки для двухпролетной жестко-пластической неразрезной

балки из двух элементов постоянного прямоугольного сечения, определяемых пластическими моментами M_1^0 и M_2^0 (рис.1). Требуется так подобрать значения M_1^0 и M_2^0 , чтобы добиться минимума веса конструкции, если ее элементы берутся из сортамента двутавров.

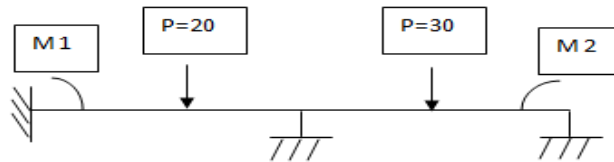


Рис.1.

Решение. Зависимость между весом двутавров и их предельным пластическим моментом представляется степенной функцией вида

$$z = 2 (M_1^0)^{0,6} + 2 (M_2^0)^{0,6} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Функция (4) является нелинейной, что исключает прямое использование линейного программирования, и, кроме того невыпуклой, что делает возможным наличие локальных экстремумов. Для решения задачи в этих условиях рационально использовать процедуру минимизации методом случайного поиска с самообучением. Условия равновесия и пластичности удобно представить в виде:

$$y_1 = |M_1| - M_1^0 \leq 0;$$

$$y_2 = \left| 10 + \frac{M_1 + M_3}{2} \right| - M_1^0 \leq 0;$$

$$y_3 = |M_3| - M_1^0 \leq 0;$$

$$y_4 = |M_3| - M_2^0 \leq 0;$$

$$y_5 = \left| 15 + \frac{M_3}{2} \right| - M_2^0 \leq 0.$$

Чтобы избавиться от ограничений, используем вместо функции z штрафную функцию $z1$: $z1 = z + \sum_{i=1}^5 \alpha_i y_i$,

где α_i принимают значения

$$\alpha_i = \begin{cases} 0 & \text{при } y_i \leq 0; \\ 100 & \text{при } y_i > 0. \end{cases}$$

Таким образом, целевая функция «штрафуется» за невыполнение ограничений. При этом чем больше неувязка в удовлетворении неравенств, тем больше штраф. Применяв вышеуказанную процедуру алгоритма случайного поиска с самообучением типа «локона Аньезе» при числе испытаний $N = 1000$ получили следующие значения: $M_1^0 = 5,64$; $M_2^0 = 12,9$; $M_1 = -4,75$; $M_2 = -5,03$; $z = 14,96$.

Полученные значения близки к значениям, полученных при решении данной задачи симплекс-методом. Различие объясняется приближенным характером метода штрафных множителей для учета ограничений и метода случайного поиска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутуев М.Д. Оптимальное управление распределением внутренних усилий строительных конструкций. – Б.: Механика, 1999.
2. Абовский Н.П. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости (регулирование, синтез, оптимизация). – М.: Стройиздат, 1978.
3. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 1986.



Джаманбаеву М. Д. – 60 лет

доктору физико-математических наук,
заведующего кафедрой «Прикладная
математика», профессору
КГТУ им. И. Раззакова

Джаманбаев Мураталы Джузумалиевич, 1952 г. рождения, кыргыз, образование высшее, в 1974г. с отличием закончил механико-математический факультет Кыргызского государственного университета им. 50-летия СССР, преддипломную и дипломную практику проходил на механико-математическом факультете МГУ им. Ломоносова. Свою трудовую деятельность начал с 1974г. учителем математики. Затем в 1977-1986 обучался в аспирантуре и являлся научным сотрудником Института автоматики НАН КР; в 1986-2000гг. работал в должности старшего преподавателя, доцента, зав. кафедрой высшей математики Кыргызского сельскохозяйственного института. В 2000-2003 гг. работал в должности начальника Управления науки Государственного агентства по науке и интеллектуальной собственности при Правительстве КР, где активно участвовал в реализации государственной научно-технической и инновационной политики. С сентября 2003-2005 годы работает в должности проректора по науке, с мая 2005 – 2010 годы работает ректором Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова и с 2010 года по настоящее время работает заведующим кафедрой «Прикладная математика».

Джаманбаев Мураталы Джузумалиевич в 1985г. успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 1999 г. диссертацию на соискание

ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.05 – механика жидкостей, газа, плазмы и в 2001г. ему присвоено звание профессора.

Профессором Джаманбаевым М.Дж. разработан экономичный численно-аналитический метод, который позволяет эффективно решать прикладные и коэффициентные задачи фильтрации, массо и теплопереноса. С помощью разработанной им методики была решена прогнозная задача нитратного загрязнения Орто-Алышского месторождения подземных вод. По контракту с Канадской фирмой «Кумтор Оперейтинг Компани» выполнены прогнозные расчеты температурно-фильтрационного режима хвостохранилища золоторудного комбината Кумтор, расположенного в условиях вечной мерзлоты. Участвовал в международном проекте по прогнозированию распространения загрязнителей в подземной гидросфере по линии МНТЦ. Активно занимается построением математической модели оползневого процесса и ее численной реализацией.

Профессором Джаманбаевым М.Дж. опубликовано более 80 научных работ, в том числе 2 монографии, под его научным руководством двое аспирантов защитили кандидатские диссертации, и, в настоящее время, осуществляет научное руководство над работой двух аспирантов и двух соискателей.

Работая в должности ректора КГТУ, профессор Джаманбаев М.Дж. уделял большое внимание развитию и улучшению качества инженерного образования путем создания совместного факультета с ведущим ВУЗом Москвы по энергетике - Московским энергетическим университетом, с выдачей дипломов Российской Федерации и Кыргызской Республики, установления связей с известными техническими вузами Германии (Клаустальский Технический университет, Берлинский Технический университет), Франции (Гренобльский Национальный политехнический институт), России (МГТУ им. Баумана, универси-

теты гг. Томск, Казань, Рязань), Казахстана (Восточно-Казахстанский технический университет), отправляя лучших студентов на учебу в эти университеты на бюджетной основе и преподавателей на стажировку. Работая заведующей общеобразовательной кафедры, преобразовал его на выпускающую кафедру по направлению «Прикладная математика и информатика», издал два учебные пособия для этого направления.

Профессор Джаманбаев М.Дж. являлся членом Координационного Совета по науке и инновационным технологиям при Президенте КР, членом Президиума НАК КР, членом коллегии МОиН КР. Он также является академиком Инженерной Академии КР и профессором Международного общества инженерной педагогики (IGIP), почетным профессором Восточно-Казахстанского технического университета. Учитывая его многолетнюю успешную работу по подготовке научных и инженерных кадров, ему в 2008 году было присвоено почетное звание «Заслуженный работник образования Кыргызской Республики».

Пользуется авторитетом среди преподавателей и студентов университета и многих других ВУЗов КР, России, Казахстана, Германии.

Юбиляру желаем крепкого здоровья, счастья и успехов в научно – педагогической деятельности.

Кожогулов К.Ч., председатель Комитета по теоретической и прикладной механике Кыргызстана, член-корр. НАН КР, д.т.н., профессор



Уметалиеву М.У. – 60 лет

кандидату физико-математических наук,
доценту кафедры «Прикладная математика»
КГТУ им. Раззакова

Уметалиев Марат Уметалиевич родился 25 февраля 1951 года в селе Асылбаш Сокулукского района Чуйской области КР.

После успешного окончания механико-математического факультета КГУ (ныне КНУ им. Баласагына), Уметалиев М.У. с 1974 по 1980 годы работал преподавателем математики и заместителем директора средней школы в родном районе Чуйской области. Молодого способного специалиста выдвинули на партийную работу, и с 1980 по 1986 годы он работал на ответственных должностях Сокулукского районного комитета Компартии Кыргызстана.

С 1986 г. Уметалиев М. У. возвращается к научно-преподавательской деятельности и приступает к работе во Фрунзенском политехническом институте (ныне КГТУ им. И. Раззакова), где успешно трудится по сегодняшний день.

В 1989 г. Уметалиев М.У. поступает в аспирантуру Национальной академии наук КР по специальности «Механика жидкости, газа и плазмы» (заочная форма обучения), которую успешно заканчивает в 1993 году с завершенной диссертацией.

В 1994 году он блестяще защитил кандидатскую диссертацию на тему: “Разработка приближенно-аналитического метода решения уравнений влагопереноса и фильтрации” по специальности 01.02.05 – Механика жидкости газа и плазмы.

Уметалиев М. У. проявил себя талантливым преподавателем: на протяжении 18 лет работает доцентом кафедры «Прикладная математика» КГТУ им. Раззакова. Он на высоком научно - методическом уровне читает лекции и проводит практические занятия по дисциплинам «Высшая математика», «Прикладная математика», «Дискретная математика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Методы оптимизации», «Математические методы в организации транспортного процесса» и другим предметам.

Уметалиев М. У. продолжает свою научную работу в области механики жидкости, развивает аналитические и приближенно-аналитические методы гидродинамики, им опубликовано более 60 научных и методических работ, одна научная монография и четыре учебных пособий в соавторстве. Он выступил с научными докладами на многих международных, всесоюзных и республиканских научных конференциях и семинарах, принимает активное участие в работе Комитета по теоретической и прикладной механике КР.

За успешную и плодотворную научно-преподавательскую деятельность Уметалиеву М.У. присвоено звание «Отличник образования Кыргызской Республики», он неоднократно награжден Почетными грамотами КГТУ им. Раззакова, избирается членом Ученого Совета факультета информационных технологий и членом Научно – технического Совета КГТУ им. И. Раззакова.

Юбиляру желаем крепкого здоровья, счастья и успехов в научно – педагогической деятельности.

Кожогулов К.Ч., председатель Комитета по теоретической и прикладной механике Кыргызстана, член-корр. НАН КР, д.т.н., профессор

СОДЕРЖАНИЕ

стр

1.	АЛЁШИН Ю.Г. Адаптивный циклический алгоритм распознавания в геофизической структуроскопии.....	4
2	КОЖОГУЛОВ К.Ч., КАЛДЫБАЕВ Н.А. Вопросы геомеханики при разработке месторождений при- родного облицовочного камня.....	13
3.	БИЙБОСУНОВ Б.И., УМЕТАЛИЕВ М.У., БЕКСУЛТАНОВ Ж.Т. Жер көчкү беттериндеги суюуктуктун бирелчөмдүү ин- фильтрациясын эсептөө.....	19
4.	БИЙБОСУНОВ А.И., БОЗГУНЧИЕВ Т.М. Анализ течения вязкой несжимаемой жидкости вблизи во- гнутой поверхности методом сращиваемых асимптотиче- ских разложений.....	27
5.	АЛЁШИН Ю.Г. Геофизическая структуроскопия на основе алгоритма са- мообучения.....	33
6.	АБДЫЛДАЕВ М.Ю, ШАМУРАТОВ К.Т, ИСКАКОВ Б.О Обтекание неограниченным потоком проницаемого клина	42
7.	ДЫЙКАНОВА А.Т, ТУГАНБАЕВ У.М Плоская краевая задача теории сопла Лавалья для газа Чаплыгина.....	48
8.	АМАНАЛИЕВ А.А., КАЗАКБАЕВА Г.О. Анализ экспериментальных данных исследования оста- точных напряжений в образцах из оптически активного материала.....	55
9.	ЖАКЫПБЕКОВА А., ТОКТОРАЛИЕВ Б.А., КОЖОГУЛОВ К.Ч. Геомеханическое состояние отходов Сумсар- Шекафтарского горнопромышленного комплекса.....	64
10.	АБДЫЛДАЕВ М. Ю., ШАМУРАТОВ К. Т., ИСКАКОВ Б. О. Решение задачи о глассирующей проницаемой пластин- ке.....	70
11.	БИЙБОСУНОВ Б.И., УМЕТАЛИЕВ М.У., БЕКСУЛТАНОВ Ж.Т Бир тектѳъ-аниизотроптун чѳйр=д=гѳ стационардык эмес ѳч =лч=мдѳѳ фильтрациянын маселелерин катарлардын жардамы менен чыгаруу.....	76

12.	ЖАКЫПБЕКОВА А., ТОКТОРАЛИЕВ Б.А., КОЖОГУЛОВ К. Ч. О опасных природных процессах на территории Сумсар- Шекафтарского горнопромышленного района.....	82
13.	АКМАТАЛИЕВА М. С. Результаты исследования влияния СВЧ волн на струк- турное состояние горных пород.....	88
14.	КОЖОГУЛОВ К.Ч., КАЛДЫБАЕВ Н.А., СУЛТАНОВ И.К. Влияние геомеханических факторов на показатели раз- работки месторождения известняков-ракушечников «Са- ры-Таш».....	95
15.	АБДЫЛДАЕВ М.Ю., ШАМУРАТОВ К.Т., ИСКАКОВ Б.О. Симметричное обтекание проницаемого клина струей вы- текающей из канала.....	102
16.	БИЙБОСУНОВ А.И. Исследование течения газа при гидродинамической не- устойчивости в поле центробежных сил.....	109
17.	КАМЧЫБЕКОВ Д.К. Стратегия развития угольной отрасли Кыргызстана на бли- жайшую перспективу.....	114
18.	МАНЖИКОВ Б.Ц., ТИЛЕГЕНОВ К. Мобильность потенциально неустойчивых скальных мас- сивов на участке Токтогульской ГЭС.....	125
19.	НИКОЛЬСКАЯ О.В., КАДЫРАЛИЕВА Г.А. Особенности свойств горных пород в зонах влияния тек- тонических нарушений.....	136
20.	КАЗАКБАЕВА Г.О. Распределение напряжений при одноосном сжатии оптически активного образца с остаточными напряжения- ми.....	143
21.	ТОРГОЕВ И.А. Геотехнические проблемы на высокогорном руднике Кумтор и их экономические и экологические последствия	151
22.	ТАЖИБАЕВ К.Т., ТАШМАМАТОВ А.С. Методика определения удельной энергоемкости из- мельчения руд и минералов.....	177
23.	ТОЛОБЕКОВА Б.Т. Оценка эффективности дифференцированного оконтури- вания при валовой отработке запасов месторождения.....	185
24.	ТОРГОЕВ И.А., АЙДАРАЛИЕВ Б, ОМОРОВ Б., ТОРГОЕВ А. Мониторинг состояния взрыво-набросной плотины Камба- ратинской ГЭС-2.....	194

25.	ФАЛАЛЕЕВ Г.Н О систематизации глинистых грунтов по параметру вязкости.....	210
26.	СЫДЫКОВА А.С., ЭМИЛЬБЕКОВ Б.Э. Некоторые результаты анализа сезонных деформаций левобережного склона в районе Токтогульской ГЭС.....	218
27.	ТАЖИБАЕВ Д.К. Ультразвуковой метод определения напряжений в массиве горных пород.....	226
28.	СУББОТИНА Е.А. Теория продольной прокатки алюминиевого листа в термомеханических условиях сверхпластичности.....	233
29.	ТАШМАМАТОВ А. С. Остаточные напряжения и их влияние на механическое поведение твердых материалов.....	246
30.	ПАЗЫЛОВ Ш.Т., БАКИРОВ Ж.Т., АРЗЫМАТОВ А.К. Влияние условий деформирования на структуру и свойства алюминиевого сплава 1561 в литом состоянии.....	255
31.	АБДИЕВА Л.К. Применение метода случайного поиска в решении задач механики.....	262
32.	о 60 летии Жаманбаеву М. Д.....	267
33.	о 60 летии Уметалиеву М.У.....	270
34.	СОДЕРЖАНИЕ.....	272

ISSN 1694-6065

