

ISSN-2073-0098

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ  
SCIENTIFIC-TECHNICAL AND PRODUCTION MAGAZINE



АРКШЕЙДЕРСКИЙ  
**ВЕСТНИК**  
MINE SURVEYING BULLETIN

**№ 2 2012**

Март - Апрель  
March - April



*Автоматизированный мониторинг технического состояния морских  
буровых платформ — гарантия экологической безопасности  
(читайте на стр. 25)*

ФГУП Гипроцветмет  
г. Москва



*1 апреля 2012*  
**День**  
*геолога!*



**УКАЗ ПРЕЗИДИУМА  
ВЕРХОВНОГО СОВЕТА СССР**  
**Об установлении ежегодного  
праздника «День геолога»**  
Президиум Верховного Совета  
СССР постановляет:  
Установить праздник «День геолога».  
«День геолога» праздновать ежегодно в первое воскресенье апреля.  
Председатель Президиума  
Верховного Совета СССР  
**Н. ПОДГОРНЫЙ.**  
Секретарь Президиума  
Верховного Совета СССР  
**М. ГЕОРГАДЗЕ.**  
МОСКВА, Кремль. 31 марта 1966 г.

Журнал издается 20-й год (с 1992 г.) и продолжает традиции периодических научно-технических изданий по маркшейдерскому делу, выходявших в России и СССР в 1910-1936 гг.

Издатель – ФГУП «ГИПРОЦВЕТМЕТ»  
Директор, кандидат экономических наук *Потылицын Виталий Алексеевич*

Председатель Редсовета, д.т.н., проф.,  
Академик АГН  
*Иофис Михаил Абрамович*

#### Члены Редсовета:

|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| <i>Гордеев В.А.</i>      | <i>Макаров Б.Л.</i>     |
| <i>Гусев В.Н.</i>        | <i>Макаров А.Б.</i>     |
| <i>Загибалов А.В.</i>    | <i>Милетенко Н.А.</i>   |
| <i>Залялов Ильхан М.</i> | <i>Навитный А.М.</i>    |
| <i>Зимич В.С.</i>        | <i>Попов В.Н.</i>       |
| <i>Зыков В.С.</i>        | <i>Смирнов С.П.</i>     |
| <i>Казикаев Д.М.</i>     | <i>Стрельцов В.И.</i>   |
| <i>Калинченко В.М.</i>   | <i>Толпегин Ю.Г.</i>    |
| <i>Кашников Ю.А.</i>     | <i>Трубчанинов А.Д.</i> |
| <i>Киселевский Е.В.</i>  | <i>Черепнов А.Н.</i>    |
| <i>Козловский Е.А.</i>   | <i>Шадрин М.А.</i>      |
| <i>Кузьмин Ю.О.</i>      | <i>Юнаков Ю.Л.</i>      |

#### Редакция:

Главный редактор  
*КАПИТОНОВ Сергей Иванович*  
тел.8-916-919-82-71

Зам.главного редактора и корректор  
*НИКИФОРОВА Ирина Львовна*  
тел.8-926-247-32-51

Редактор  
*МОЛОДЫХ Ирина Валерьевна*

Дизайн полноцвета  
*АЛПАТОВ Алексей Васильевич*

Адрес: 129515, Москва, а/я №51 –  
«Гипроцветмет»–МВ,  
ул.Акад.Королева, 13, стр.1 оф.607

Тел/факс: (495) 616-95-55-МВ

Тел. (495) 660-92-00 доб.4-19

E-mail: [office@giprocm.ru](mailto:office@giprocm.ru); [metago@mail.ru](mailto:metago@mail.ru)

<http://www.giprocm.ru>

Выходит 6 номеров в год.  
Регистрационное свидетельство  
Министерства печати и информации  
РФ №0110858 от 29 июня 1993 г.

Отпечатано в типографии «П-Центр»  
Формат А4, тираж 990 экз.,  
усл. печ. л. 8,0

Подписано в печать 20.03.2012 г.

Индексы в каталогах:  
Агентства Роспечати 71675,  
Почта России 90949,  
Урал-Пресс 71675

В течение года можно оформить  
подписку на журнал через редакцию

За точность приведенных сведений и  
содержание данных, не подлежащих  
открытой публикации, несут ответственность авторы.

Мнения авторов могут не совпадать с  
мнением редакции.

Рукописи не возвращаются!

Ордена им.В.Н.Татищева «За пользу Отечеству»  
НТИП журнал

# МАРКШЕЙДЕРСКИЙ МВ ВЕСТНИК

№2 (88), март – апрель, 2012 г.

Учредители:  
СОЮЗ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ  
СОЮЗ ЗОЛОТОПРОМЫШЛЕННИКОВ  
ФГУП «ГИПРОЦВЕТМЕТ»

Журнал входит в перечень ве-  
дущих научных изданий ВАК  
Минобразования и науки РФ

«Что такое цивилизация? Это постоянные  
открытия, которые совершает на каждом шагу  
шествующий вперед человеческий разум»

В.Гюго

## В ЭТОМ НОМЕРЕ:

- **ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**
- **ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС**
- **ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ**
- **ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРО-  
ИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**
- **ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ**
- **ЮБИЛЕИ**
- **НАША ПАМЯТЬ**
- **ИНФОРМАЦИЯ**





**Издатель, редакционный совет и редакция научно-технического  
и производственного журнала «Маркшейдерский вестник»  
сердечно поздравляют наших читателей с Международным  
женским днем 8 Марта и Днем геолога!**

**Желаем всем Вам, дорогие друзья, доброго здоровья, успехов  
в труде, благополучия и личного счастья!**

## СОДЕРЖАНИЕ

|  | Стр. |
|--|------|
| <b>– ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ</b>   |      |
| <b>В.Г.Мерзляков, В.Е.Бафталовский, Б.А.Черных.</b> Эффективность резания горных пород струями воды высокого давления с добавками полиакриламида .....   | 5    |
| <b>В.И.Стрельцов, В.П.Петриченко, Ю.И.Волков.</b> Эффективность технологии гидродобычи богатых железных руд КМА.....   | 10   |
| <b>В.Ю.Линник.</b> Анализ и прогнозная оценка технологических схем подготовки и отработки пологих и наклонных угольных пластов .....   | 12   |
| <b>М.В.Рыльникова, В.В.Олизаренко, М.М.Мингажев.</b> Совершенствование технологии водоотведения и водоотлива при подземной разработке месторождений медно-колчеданных руд с твердеющей закладкой .....         | 16   |
| <b>О.В.Петрова, Д.А.Милкин, К.А.Аверьянов, И.Х.Ахмедьянов.</b> Обоснование критерия сравнительной экономической эффективности технологий активной утилизации техногенного сырья .....                          | 20   |
| <b>– ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС</b>   |      |
| <b>О.Н.Горбунов, С.А.Машкова-Хоркина.</b> Автоматизированный мониторинг технического состояния морских буровых платформ .....  | 25   |
| <b>Л.С.Сафонов, А.В.Волохов.</b> Случайные процессы при геометризации месторождений полезных ископаемых.....   | 28   |
| <b>Ю.И.Волков, С.С.Серый, А.В. Герасимов.</b> Перспективы внедрения ГИС ГЕОМИКС на горных предприятиях.....  | 32   |
| <b>– ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ</b>   |      |
| <b>Ю.В.Посыльный, А.А.Алмазов.</b> Анализ деформаций земной поверхности в процессе формирования мульды сдвижения в условиях шахты Алмазная ОАО «Гуковуголь» .....  | 35   |
| <b>О.Г.Бесимбаева, Е.А.Панасенко, Н.Г.Бесимбаев.</b> Обоснование периодичности циклов инструментальных наблюдений при изучении деформаций сооружений .....   | 39   |
| <b>В.В.Зубков, И.А.Зубкова, В.Я.Коноваленко.</b> Оценка устойчивости карьера "Нюрбинский" в зоне влияния разрывных нарушений .....   | 43   |
| <b>А.Е.Кирков, Е.Н.Есина.</b> Совершенствование методов прогноза сдвижений земной поверхности в условиях скважинной добычи твердых полезных ископаемых .....   | 48   |
| <b>А.В.Гришин, М.К.Логвиненко.</b> К вопросу о взаимосвязи горизонтальных и вертикальных деформаций массива горных пород и земной поверхности при подземной разработке месторождений полезных ископаемых ..... | 51   |
| <b>– ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b>  |      |
| <b>В.И.Ляшенко, Ф.Ф.Топольный, Т.С.Лисова.</b> Экологическая безопасность уранового производства.....  | 56   |
| <b>Е.В.Комлева.</b> Юкка Маунтин, Краснокаменск и Печенга .....  | 64   |
| <b>– ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ</b> .....   | 67   |
| <b>– ЮБИЛЕИ</b> .....  | 70   |
| <b>– НАША ПАМЯТЬ</b> .....   | 72   |
| <b>– ИНФОРМАЦИЯ</b> .....  | 73   |



В.Г.Мерзляков, В.Е.Бафталовский, Б.А.Черных

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД СТРУЯМИ ВОДЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ДОБАВКАМИ ПОЛИАКРИЛАМИДА

Рассмотрены основные преимущества использования малых полимерных добавок в струях воды давлением до 50 МПа с насадками диаметром 1,0...1,9 мм при гидравлическом разрушении горных пород. Приведены количественные оценки влияния применения малых полимерных добавок на эффективность гидравлических и технологических характеристик водяных струй высокого давления при разрушения горных пород по щелевой схеме.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** струя воды высокого давления; раствор полиакриламида; гидравлическое разрушение; горная порода; щелевая схема разрушения; эффективность гидравлического резания горных пород.

В настоящее время возможности совершенствования струеформирующих устройств с целью повышения компактности водяных струй практически исчерпаны. Дальнейшее увеличение разрушающей способности водяных струй может быть достигнуто за счет введения в рабочую жидкость добавок вязкоупругих полимеров, например, полиакриламида (ПАА) с молекулярной массой  $(1 \dots 4) \cdot 10^6$ .

Выполненные в ННЦ ГП - ИГД им. А.А.Скочинского исследования показали, что использование малых добавок полиакриламида в струях высокого давления позволяет на 22...25% увеличить глубину щелей, прорезаемых в образцах углей различных марок с  $f=0,6 \dots 3,6$  [1]. Отмечается, что указанный эффект был получен за счет способности полимерных добавок снижать уровень турбулентных возмущений в потоке жидкости и тем самым улучшать динамические характеристики струи в зоне контакта с разрушаемым материалом.

### Стендовая база и методика выполнения исследований

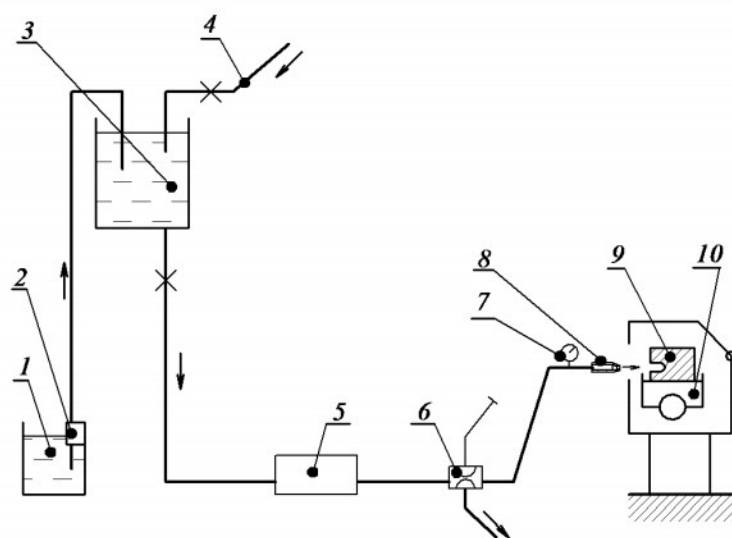
Повышение эффективности гидравлического разрушения горных пород по щелевой схеме имеет большое значение при создании горных породоразрушающих машин нового технического уровня. С использованием опыта применения полимерных добавок при гидравлическом разрушении угля различных марок нами были выполнены комплексные экспериментальные исследования по резанию горных пород высокоскоростными струями воды и слабым растворам высокополимеров.

Схема стенда для проведения исследований представлена на рис.1.

Для генерирования водяных струй высокого давления стенд был оснащен плунжерным насосом 35Н-14 с расходом  $9 \text{ м}^3/\text{ч}$  на давление воды до  $p_0=50 \text{ МПа}$ . С учетом возможностей насосного оборудования и задач исследований в качестве разрушаемого материала был принят известняк, являющийся типичным представителем горных пород малой и средней прочности и имеющий широкое распространение на территории РФ.

Образцы известняка были взяты с Тяженского карьера. Рабочие поверхности образцов были выровнены на строгальном станке. Диапазоны изменения прочностных свойств отобранных образцов составили  $\sigma_{сж}=10,3-32,6 \text{ МПа}$  и  $\sigma_p=2,1-4,1 \text{ МПа}$ , что позволило

получить надежные оценки влияния физико-механических свойств горной породы на эффективность гидравлического резания с использованием малых полимерных добавок в струях воды высокого давления.



**Рис.1. Схема стенда для гидравлического разрушения горных пород**

1 - бак-смеситель исходного раствора ПАА, 2 - насос, 3 - питающая емкость, 4 - заливочный водовод, 5 - насос высокого давления, 6 - дроссель, 7 - манометр, 8 - струеформирующее устройство, 9 - образец разрушаемой горной породы, 10 - гидравлическая каретка для перемещения образцов

Из теории и практики гидравлического разрушения угля и горных пород известно, что в наиболее общем виде зависимость глубины прорезаемой щели  $h$  от основных влияющих факторов может быть описана уравнением:

$$h = f(p_0; d_0; l_0; v_n; f; N), \quad (1)$$

где  $p_0$  - давление жидкости перед насадкой, МПа;  $d_0$  - диаметр насадки, мм;  $l_0$  - расстояние от насадки до образца, мм;  $v_n$  - скорость перемещения струи по образцу, м/с;  $f$  - коэффициент крепости угля по Протодьяконову;  $N$  - число проходов струи по щели.

Поэтому для полной и объективной оценки разрушающей способности струй полимерного раствора методика исследований была построена на получении парных корреляционных зависимостей глубины прорезаемой щели от каждого из факторов, входящих в уравнение (1). Матрица экспериментальных исследований представлена в табл.1.

Матрица экспериментальных исследований

| Целевая корреляционная зависимость | Основные влияющие факторы |                 |                |                    |          |                     |
|------------------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|--------------------|----------|---------------------|
|                                    | $d_0$ , мм                | $l_0$ , мм      | $p_0$ , МПа    | $v_n$ , м/с        | N, прох. | $\sigma_{сж}$ , МПа |
| $h=f(l_0)$                         | 1; 1,3; 1,9               | 10; 40; 70; 130 | 45             | 0,1                | 1        | 12,8-326            |
| $h=f_1(p_0)$                       | 1; 1,3                    | 50              | 25; 35; 45; 50 | 0,1                | 1        | 14,6                |
| $h=f_2(v_n)$                       | 1; 1,9                    | 10; 130         | 45             | 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 | 1        | 1,75-1,8            |
| $h=f_3(n)$                         | 1; 1,3                    | 40              | 45             | 0,2; 0,5           | 1; 2; 4  | 13,5-17,2           |
| $h=f_4(d_0)$                       | 1; 1,3; 1,9               | 50              | 45             | 0,1                | 1        | 10,3-32,6           |
| $h=f_5(\sigma_{сж})$               | 1,9                       | 10; 40; 130     | 45             | 0,1                | 1        | 10,8-32,6           |

Оценка эффективности использования раствора полиакриламида оптимальной концентрации базировалась на сопоставлении глубины щели, прорезаемой в разрушаемых образцах струями чистой воды и полимерного раствора, при равных значениях факторов, влияющих на эффективность процесса разрушения. В качестве количественной оценки эффективности гидравлического резания угля и горных пород струями раствора полиакриламида был принят показатель эффективности  $A$ , %, определяемый из выражения:

$$A = \frac{h_n - h_b}{h_b} = \frac{\Delta h}{h_b}, \% \quad (2)$$

$h_b$  – глубина щели, прорезанная водой, мм;  $h_n$  – глубина щели, прорезанная струей водного раствора ПАА, мм;  $A$  – показатель эффективности использования полимерного раствора, %.

Кроме этого показателя при анализе экспериментальных данных использовалась величина  $\Delta h$ .

Последовательность операций при выполнении исследований была следующей. В баке смесителе (1) ёмкостью 200 л производилось приготовление раствора ПАА предварительной концентрации  $C_1$ . С учетом ранее выполненных исследований концентрация первичного раствора ПАА была принята  $C_1=0,027\%$  [1]. Первичный раствор ручным насосом (2) подавался в питающую ёмкость (3) объемом 1 м<sup>3</sup> и производилось его тщательное перемешивание. Блок известняка устанавливался на гидравлической каретке (10) и выполнялось нарезание щелей с параметрами, предусмотренными матрицей исследований (табл. 1).

Шаг между щелями составлял 15-20 мм, что исключало возможность ослабления материала образца при последующих резах. Значение глубины щели получалось осреднением 20-25 замеров, произведенных с шагом 10 мм по длине щели. Эксперименты дублировались на противоположных поверхностях образцов, что позволяло свести к минимуму погрешности, вносимые в результаты экспериментов вариацией прочностных свойств.

#### Результаты экспериментальных исследований

Первая серия опытов была выполнена в соответствии с матрицей эксперимента для получения корреляционной зависимости  $h=f(l_0)$  при использовании струеформирующих насадок диаметром  $d_0=1,0$  мм;  $d_0=1,3$  мм и  $d_0=1,9$  мм. Результаты экспериментов со струеформирующей насадкой  $d_0=1,9$  мм

представлены на рис.2.

Оценивая результаты этой серии экспериментов по величине показателя  $A$ , можно сделать вывод, что на всех изученных расстояниях  $l_0=10-130$  мм величина показателя эффективности  $A$  колебалась не очень существенно, что подтверждается изменением коэффициентов корреляции линейных зависимостей на рис.2 и 3 в пределах  $R=0,76-0,96$ .

Общее среднее значение показателя эффективности для всех проведенных экспериментов без учета крайних значений составило  $\bar{A}=24\%$ .

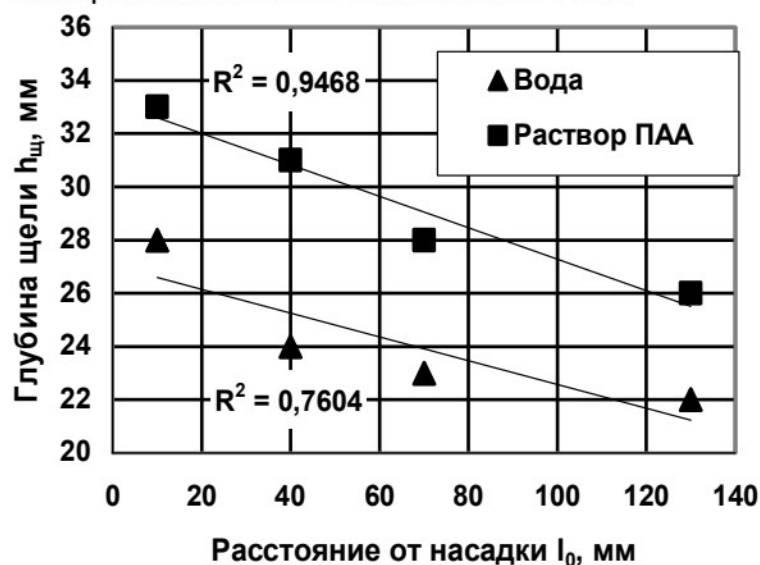


Рис.2. Зависимость глубины разрушения известняка струями воды и раствора ПАА от расстояния между образцом и насадкой

$d_0=1,9$  мм;  $p_0=45$  МПа;  $v_n=0,1$  м/с;  $\sigma_{сж}=23,6$  МПа

При этом средние значения показателя эффективности разрушения известняка при использовании насадок с  $d_0=1,0$  мм;  $d_0=1,3$  мм и  $d_0=1,9$  мм составили соответственно  $A=33,0\%$ ;  $A=22,3\%$  и  $A=21,5\%$ .

Физическая сущность полученного эффекта объясняется существенным увеличением длины начального участка струй воды с добавкой ПАА по сравнению со струями обычной воды при прочих равных условиях. Так в работе [2] длину начального участка предлагается определять из соотношения:

$$(l_n)_n = 1,5(l_n)_b; \quad (3)$$

где  $(l_n)_n$  – длина начального участка водяной струи с добавкой полимера;  $(l_n)_b$  – длина начального участка обычной водяной струи.



## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Таблица 2

**Влияние исходного давления водяных струй с добавками ПАА на эффективность резания известняка**

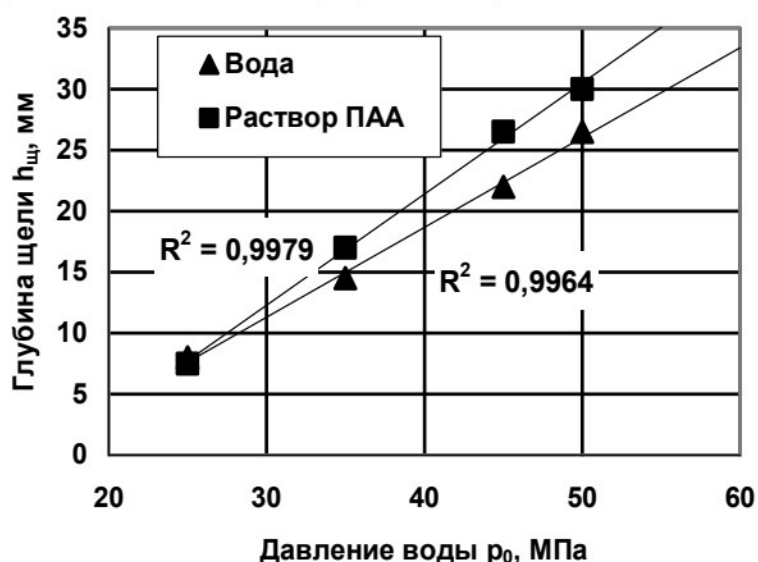
| Давление жидкости $p_0$ , МПа    | 25   | 35 | 45 | 50   |
|----------------------------------|------|----|----|------|
| Показатель эффективности $A$ , % | 0    | 14 | 19 | 20,5 |
| $\Delta h$ , мм                  | -0,5 | 2  | 4  | 5    |

Сопоставляя значения  $\Delta = \left(\frac{l}{l_H}\right)_B - \left(\frac{l}{l_H}\right)_П$  для

всех  $l_0 = \text{const}$ , нетрудно заметить, что с уменьшением диаметра насадки устойчиво возрастают значения  $\Delta$ , а следовательно увеличивается разница между значениями осевых динамических давлений водяной струи и струи с добавкой ПАА в области их контакта с разрушаемым массивом [3].

Выполненные с использованием зависимости (2) расчеты показывают, что при прочих равных условиях, показатель эффективности разрушения горных пород струями воды с добавкой ПАА имеет тенденцию к возрастанию при уменьшении диаметра насадки.

Эксперименты по исследованию влияния давления перед насадкой на эффективность использования струй с добавками ПАА для разрушения горных пород по щелевой схеме были проведены с насадками  $d_0 = 1,0$  мм и  $d_0 = 1,3$  мм на блоке известняка с  $\sigma_{сж} = 14,6$  МПа. Объем эксперимента составил 32 щели с исходными параметрами, представленными в табл.1, для получения корреляционной зависимости  $h = f_1(p_0)$ . Результаты экспериментов с использованием струеформирующей насадки диаметром  $d_0 = 1,3$  мм представлены в виде графиков на рис.3.



**Рис.3. Графики зависимости глубины разрушения известняка от давления воды перед насадкой**  
 $d_0 = 1,3$  мм;  $\sigma_{сж} = 14,6$  МПа

Из визуального анализа прорезанных щелей и численных результатов замеров их глубины, представленных на рис.3, установлено, что при давлении 25 МПа все прорезанные щели имели неровный прерывистый профиль. Использование полимерных добавок при этом давлении не способствовало увеличению глубины щели. Таким образом, нет основания считать, что критическое давление струи при гидравлическом разрушении известняка может быть снижено за счет использования добавок ПАА.

Результаты совместного анализа показателей эффективности использования полимерных добавок при резании известняка с использованием струеформирующих насадок с  $d_0 = 1$  мм и  $d_0 = 1,3$  мм представлены в табл.2.

Из таблицы следует, что увеличение давления рабочей жидкости перед насадкой способствует увеличению показателя эффективности использования раствора полиакриламида при гидравлическом резании горных пород. Физический смысл этого эффекта можно объяснить тем, что с увеличением исходного давления воды увеличивается интенсивность проявления турбулентных возмущений в водяной струе, приводящих к увеличению ее диаметра и снижению динамических давлений в сечении струи. При этом возрастает роль полимерных добавок как эффективного средства гашения поперечных пульсаций и вихрей за счет создания в теле водяной струи достаточно протяженных полимерных структур.

Практический интерес представляет также сделанный на основании анализа экспериментальных данных (рис.3) вывод, что для достижения заданной глубины щели  $h = \text{const}$  давление рабочей жидкости с использованием добавок полиакриламида может быть снижено на 4-8 МПа по сравнению с необходимым давлением обычной водяной струи.

Скорость перемещения струи относительно поверхности разрушаемого материала  $v_n$  является одним из важнейших технологических параметров при гидравлическом разрушении угля и горных пород.

Эксперименты по установлению влияния скорости перемещения струи на показатель эффективности использования водного раствора ПАА в качестве рабочей жидкости были проведены на двух блоках известняка с  $\sigma_{сж} = 18$  МПа и  $\sigma_{сж} = 17,5$  МПа. Объем эксперимента составил 30 щелей, нарезанных с использованием струеформирующих насадок с  $d_0 = 1$  мм и  $d_0 = 1,9$  мм при скоростях перемещения струи  $v_n = 0,2-1$  м/с.

Результаты экспериментов с использованием струеформирующей насадки  $d_0 = 1,0$  мм приведены на рис.4.

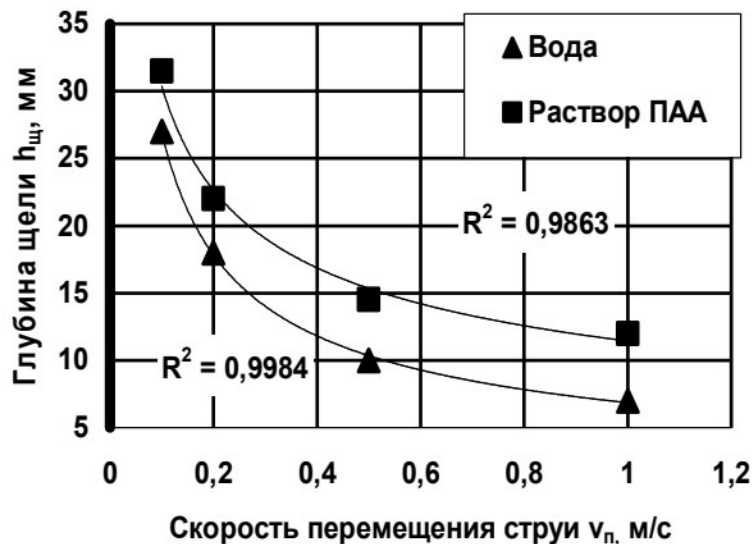
Полученные данные показали, что при увеличении скорости перемещения струи величина показателя эффективности  $A$  возрастает, в то время как величина  $\Delta h$  снижается или сохраняется на постоянном уровне.

Наиболее значительное увеличение показателя  $A$  наблюдалось, как и следовало ожидать, при использовании насадки с  $d_0 = 1,0$  мм (рис.4) на максимальном расстоянии от насадки  $l_0 = 130$  мм. Величина показателя эффективности при этом составила  $A = 71\%$ .

Необходимо отметить, что значения  $\Delta h$  при использовании насадки с  $d_0 = 1,9$  мм в среднем превосходят аналогичные значения при использовании на-

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

садки с  $d_0=1,0$  мм, однако сопоставление величин показателя эффективности  $A$  приводит к обратному результату.



**Рис. 4. Влияние скорости перемещения струи на глубину щели, прорезаемой в известняке**

$d_0=1,0$  мм;  $l_0=130$  мм;  $p_0=45$  МПа;  $\sigma_{сж}=17,5-18$  МПа

Кажущееся противоречие этих оценок устраняется, если принять во внимание, что использование полимерных добавок позволяет увеличить диаметр сечения струи, в котором динамические давления  $p_x > p_{кр}$  (где  $p_{кр}$  - критическое давление для разрушения данного материала).

В этом случае естественно, что чем больше диаметр насадки, тем больше абсолютное значение увеличения эффективного сечения струи при резании полимерным раствором. Поэтому  $\Delta h$  при использовании насадки с  $d_0=1,9$  мм больше, чем  $\Delta h$  при использовании насадки с  $d_0=1,0$  мм.

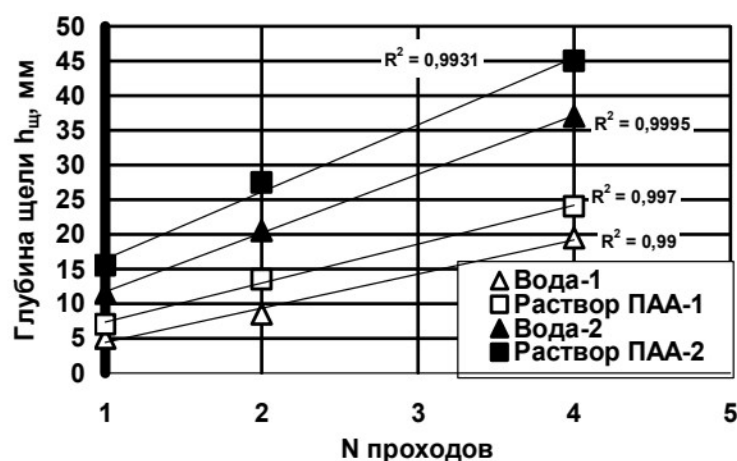
Одним из возможных технологических режимов работы исполнительных органов горных машин с гидравлическими или гидромеханическими исполнительными органами, оснащенными тонкими струями воды высокого давления, является режим с многократным повторением проходов струи по щели с целью достижения определенной глубины щели в соответствующей принятой схеме разрушения забоя.

Исследования эффективности использования водного раствора полиакриламида при многократных проходах струи по щели были проведены на двух блоках известняка с  $\sigma_{сж}=17,2$  МПа и  $\sigma_{сж}=13,5$  МПа. Результаты этих опытов представлены на рис. 5.

С учетом ранее полученных результатов, для насадки меньшего диаметра была принята большая скорость перемещения струи. Объем исследований составил 24 щели, прорезанные в известняке струями чистой воды и струями полимерного раствора.

Анализ результатов этих исследований показал, что тенденция увеличения показателя эффективности  $A$  сохраняется до  $N=2$ . При увеличении числа проходов струи по щели до  $N=4$  значение показателя эффективности во всех без исключения опытах уменьшилось. Следует обратить внимание на то, что величина  $\Delta h$  сохранила тенденцию к увеличению и

при  $N=4$ , что подтверждает ранее обсуждавшиеся выводы о природе воздействия полимерных добавок на компактность водяных струй.



**Рис. 5. Зависимость глубины резания известняка струями воды и раствора ПАА от числа проходов струи по щели**

$p_0=45$  МПа;  $l_0=40$  мм; 1-  $d_0=1,0$  мм;  $v_n=0,5$  м/с;  $\sigma_{сж}=17,2$  МПа; 2-  $d_0=1,3$  мм;  $v_n=0,2$  м/с;  $\sigma_{сж}=13,5$  МПа

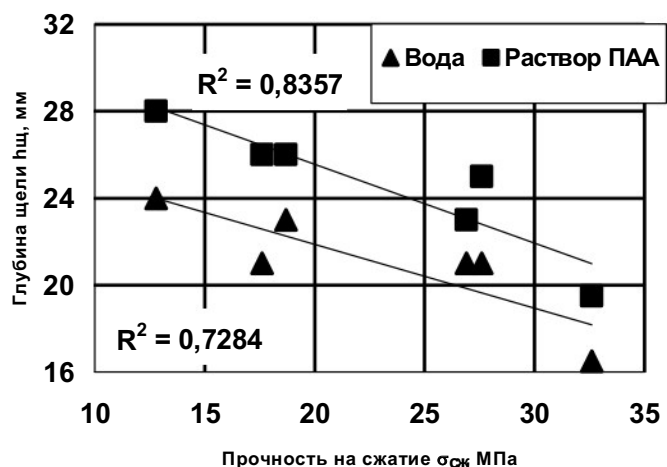
Кроме того необходимо обратить внимание на то, что значения  $\Delta h$ , полученные при использовании насадки с  $d_0=1,3$  мм, были значительно больше значений этого показателя при использовании насадки с  $d_0=1,0$  мм. На наш взгляд, это объясняется не только различием диаметров струеформирующих насадок, но также разницей значений скоростей перемещения указанных струй и прочности разрушаемых блоков.

Значительный объем экспериментов, выполненных при постоянных значениях основных факторов, определяющих эффективность гидравлического разрушения горных пород по щелевой схеме ( $p_0$ ,  $v_n$  и  $N$ ), позволил сгруппировать полученные данные с целью анализа влияния прочностных свойств горной породы, в качестве которых приняты  $\sigma_{сж}$  и  $\sigma_p$ , на эффективность резания горных пород струями полимерного раствора в зависимости от диаметра струеформирующей насадки и расстояния до разрушаемого образца. С этой целью были использованы результаты 80 опытов при изменении  $\sigma_{сж}$  в пределах 12,8-32,6 МПа. Анализ статистических характеристик  $n_i$  и  $W_i$ , оценивающих представительность различных значений  $\sigma_{сж}$  и  $\sigma_p$  при анализе влияния этих показателей на эффективность разрушения известняка струями воды с малыми добавками ПАА, показал, что значения  $\sigma_p$  оставались в пределах  $2,7 \pm 0,2$  МПа для всей совокупности рассмотренных экспериментальных данных. Представительность интервалов изменения  $\sigma_{сж}$  известняка была значительно выше, что позволяет использовать этот показатель прочности горных пород как фактор, влияющий на эффективность резания горных пород струями воды с добавками полиакриламида.

В качестве примера, на рис. 6 представлены графики зависимости глубины разрушения известняка струями воды и полимерного раствора от  $\sigma_{сж}$ , полученные при использовании насадки с  $d_0=1,9$  мм для расстояния до разрушаемого образца  $l_0=130$  мм.



## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ



**Рис.6. Зависимость глубины разрушения известняка струями воды и раствора ПАА от прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$**   
 $d_0=1,9$  мм;  $p_0=45$  МПа;  $l_0=130$  мм;

Аналогичные данные были проанализированы для расстояний от насадки  $l_0=10$  мм и  $l_0=40$  мм.

Установлено, что, несмотря на значительный разброс экспериментальных данных ( $R=0,58-0,83$ ), для всех расстояний прослеживается четкая линейная зависимость глубины разрушения от  $\sigma_{сж}$  известняка.

С целью оценки наиболее стабильного значения показателя эффективности резания известняка струями полимерного раствора с учетом всего разнообразия исходных гидравлических и технологических параметров, предусмотренных матрицей эксперимента, был выполнен статистический частотный анализ показателей эффективности  $A$  с шагом  $h=12$ , результаты которого представлены в табл.3.

Таблица 3

### Частотный анализ результатов исследований

| Интервалы изменения $A$ , % | $A$ , %  | $n_i$ | $W_i$ | $\frac{w_i \times 10^2}{h}$ |
|-----------------------------|--|-------|-------|-----------------------------|
| 0-12                        | 5; 11; 6; 10; 4; 9; 0; 0; 11   | 9     | 0,17  | 1,4                         |
| 12-24                       | 14; 15; 24; 17; 17; 18; 18; 17; 16; 18; 17; 22; 17; 13; 17; 20; 23; 21 | 19    | 0,35  | 2,9                         |
| 24-36                       | 31; 32; 31; 36; 28; 25; 28; 26; 33; 28; 28; 26; 34; 31; 35; 34; 28     | 17    | 0,31  | 2,6                         |
| 36-48                       | 37; 37; 40; 45   | 4     | 0,08  | 0,67                        |
| > 48                        | 58; 52; 59; 53; 71   | 5     | 0,09  | 0,75                        |

$$\sum n_i = 54$$

В таблице  $n_i$  - частота значений  $A$  в интервале  $h$ ;  $W_i$  - относительная частота;  $\frac{w_i \times 10^2}{h}$  - плотность частоты показателя эффективности  $A$  в процентах.

Отбрасывая малопредставительные значения  $A \geq 36$  (табл.3), можно сделать вывод, что для всего объема проанализированных экспериментальных данных среднее значения показателя эффективности разрушения известняка струями воды высокого давления с малыми добавками ПАА составило величину  $A=27,7\%$ .

### Основные выводы

1. Эффективность применения малых полимерных добавок в струях воды высокого давления при разрушении горных пород может быть объяснена улучшением их динамических и структурных характеристик, влияющих на интенсивность резания горных пород по щелевой схеме.

2. Возможность увеличения скорости перемещения водяных струй с малыми добавками полиакриламида при нарезании зарубной щели заданной глубины позволяет достигнуть увеличения ее боковой площади, нарезаемой в единицу времени, а следовательно снизить энергоемкость гидравлического разрушения горных пород по щелевой схеме.

3. При гидромеханическом разрушении горных

пород наибольшая эффективность использования малых добавок ПАА в струях воды высокого давления может быть получена при разрушении крепких абразивных горных пород. Указанный эффект может быть достигнут за счет использования насадок малых диаметров и высоких значений давления рабочей жидкости перед насадкой.

4. Для достижения заданной глубины щели при гидравлическом разрушении горных пород, исходное давление рабочей жидкости с использованием добавок полиакриламида должно быть снижено на 4-8 МПа по сравнению с исходным давлением водяной струи.

### Литература

- Бафтатовский В.Е. Эффективность разрушения угля высокоскоростными струями слабых растворов высокополимеров // Разрушение углей и горных пород: Науч. сообщ./ Ин-т горного дела им.А.А.Скочинского. -М., 1995. -Вып. 301. -С. 102-111.
- Никонов Г.П., Шавловский С.С. Гидродинамические исследования струй с полимерными добавками // Науч. сообщ./ Ин-т горного дела им.А.А.Скочинского. -М., 1975. -Вып. 126.
- Мерзляков В.Г., Бафтатовский В.Е. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. М.: ФГУП ННЦ ГП - ИГД им. А.А.Скочинского, 2004, - 645 с/

Виктор Георгиевич Мерзляков, проф., д.т.н., МГОУ, тел.(499)763-22-12;  
 Виктор Евгеньевич Бафтатовский, к.т.н., зав.лабораторией ННЦ ГП –  
 ИГД им.А.А.Скочинского, тел.(495)558-81-05;  
 Борис Александрович Черных, аспирант, ГОУ ДПО "ИПК"

*В.И.Стрельцов, В.П.Петриченко, Ю.И.Волков*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОДОБЫЧИ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД КМА

Приводятся результаты опытно-промышленных работ по скважинной гидродобыче железных руд на КМА. Отмечается высокое качество руд, добываемых способом СГД, короткие сроки окупаемости-1,5-2 года. Возможность построения рудника за 4-5 лет мощностью 5 млн.т/год.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** КМА; железные руды; скважинная гидродобыча; эффективность технологии; показатели.

Развитие технологии гидродобычи богатых железных руд (скважинная гидродобыча - СГД) основано на использовании таких природных факторов, как инженерно-геологические и гидрогеологические условия залегания и размещения руд в недрах и внедрении инновационных технологических процессов добычи руд:

- природная концентрация железорудных месторождений КМА с общими запасами свыше 62,5 млрд.т с высоким содержанием железа до 62% в недрах и низкими прочностными показателями;
- экономическая эффективность производственных процессов и технологии в целом; повышение производительности труда;
- высокое качество и конкурентоспособность получаемой товарной руды (до 68,0% Fe);
- малая капиталоемкость основных фондов создаваемых предприятий СГД и окупаемость инвестиций в короткие сроки – 1,5-2,0 года;
- инновационное изменение технологической структуры горно-добычного производства;
- расширение минерально-сырьевой базы черной металлургии без снижения потенциала действующих горно-добывающих предприятий;
- ведение добычных работ без присутствия человека в очистном пространстве;
- малая операционность технологических процессов;
- минимальное воздействие на окружающую среду в зоне функционирования предприятий.

Опытно-методические работы по оценке эффективности технологии СГД начаты в 1988 г. по инициативе МинГЕО и Минчермета СССР (совместный приказ №213/314), которым утверждалась «Программа создания и освоения технологии СГД богатых железных руд КМА».

Задачи первого этапа Программы были выполнены на Шемраевском участке железорудного месторождения в Белгородской области. В частности были опробованы на практике:

- основные научные и технологические решения по применению технологии СГД, было показано, что, используя только скважины, можно добывать богатую железную руду с глубины более 400 м (рис.1);
- добыта не имеющая аналогов в РФ по качеству богатая железная руда, превышающая по показателям концентрат основных действующих ГОКов, перерабатывающих кварциты;
- часовая производительность добычи руды из скважины составила 18,0-35,0 т.

К сожалению, на Шемраевском и впоследствии на Гостищевском рудниках работы не были доведены

до промышленного внедрения технологии СГД из-за перестройки промышленности в РФ и слабой инновационной поддержки в 90-е годы.

В настоящее время в Белгородской области функционирует Большетроицкий рудник СГД Объединенной металлургической компании, который работает (рис.2). Программой развития рудника предусмотрено достижение мощности в 1 млн.т/год.

Технология СГД вошла составной частью в состав важнейших инновационных проектов по Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации, рекомендуемых к реализации в период до 2015 г., в частности: «Разработка и внедрение технологии гидродобычи богатых (до 68% железа) руд КМА» (п.11, приложение 6 Стратегии).

Месторождения богатых железных руд КМА сосредоточены в основном в пределах Белгородской области при глубине залегания 500-800 м. Запасы более 25-ти месторождений составляют 62,5 млрд.т (в т.ч. поисково-разведанные и прогнозные).

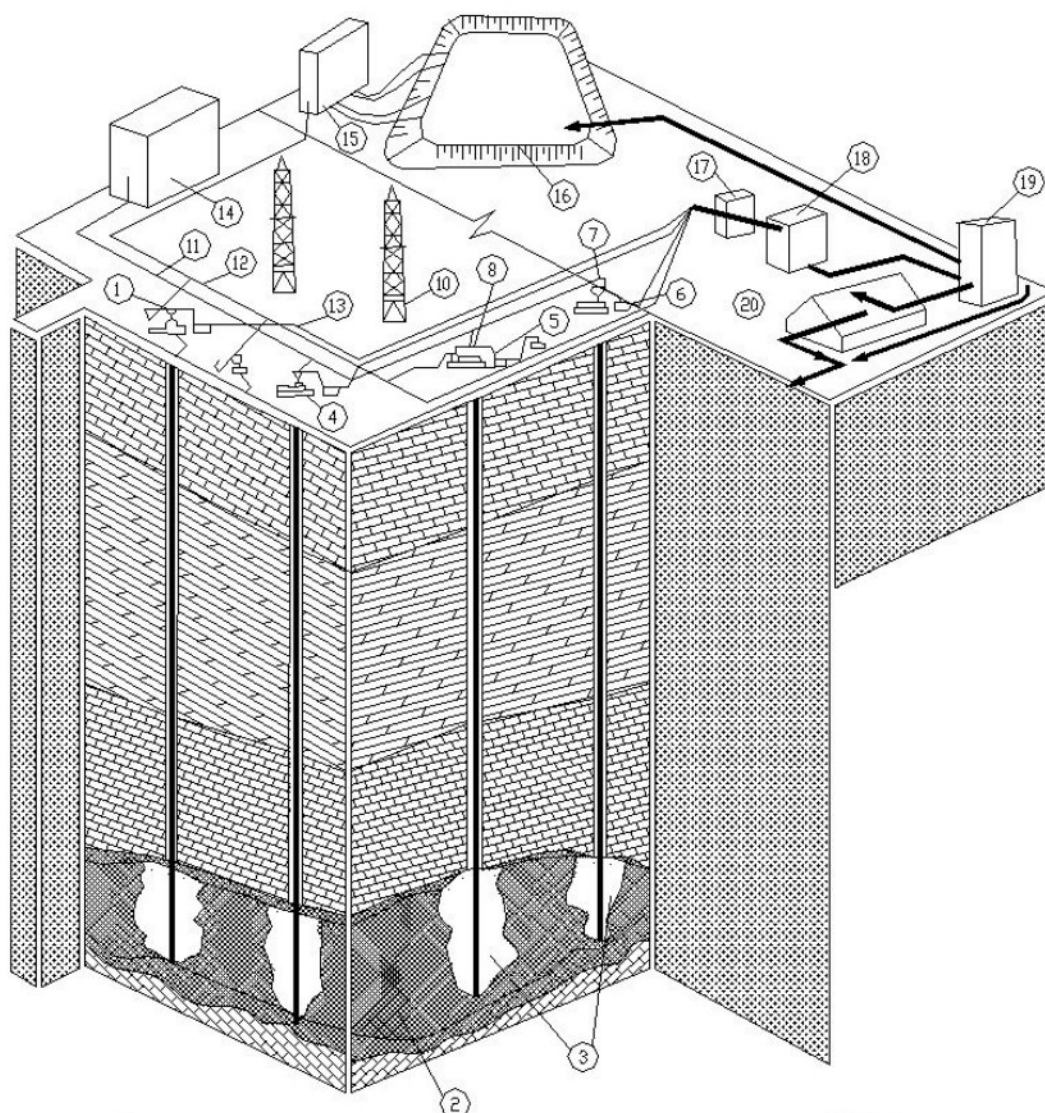
В настоящее время возможно проектирование и строительство одновременно 2-3 рудников, выбор участков для которых определяется наличием «свободных» земель (земель, не занятых населенными пунктами и другими объектами инфраструктуры области) и их стоимостью в зависимости от категории земель (пахотные, овраги, лесополосы и пр.). Каждый рудник может проектироваться на мощность до 4,0-5,0 млн.т сырой руды. Оценочные расчеты показывают, что возможно достижение следующих показателей: срок строительства – 4,0-5,0 лет с окупаемостью капитальных вложений по этапам строительства - 1-й этап при мощности до 500000 т в первые 1,5-2,0 года; 2-й этап – до 1500000 т через 3 года; 3-й этап – до 3000000 т через 4 года; 4-й этап – до 5,0 млн.т по окончании строительства.

При ожидаемом уровне рентабельности в 30-35%, затраты на строительство рудника будут погашаться поэтапно, начиная уже с 1,5 года его эксплуатации.

Рост инвестиционных вложений по этапам объясняется увеличением количества сооружаемых добычных и вспомогательных скважин (наблюдательных для оценки изменения режима подземных вод, геомеханической оценки состояния подрабатываемых массивов горных пород, геофизической оценки объемов и местоположения очистных выемок и др.); затраты по одной скважине оцениваются: добычные – около 20,0 млн.руб.; геолого-разведочные – 6,0 млн.руб., вспомогательные – до 2,0 млн.руб.



## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ



**Рис.1. Принципиальная схема технологии СГД**

- 1 – добычная скважина; 2 – рудный пласт; 3 – очистные камеры; 4 – поворотный стол; 5 – расходомер и плотномер; 6 – шламный насос; 7 – вертлюг трехпородный; 8 – рабочая трубка; 9 – эрлифт; 10 – буро-монтажная установка; 11 – воздухо-подающие трубопроводы; 12 – подо-подающие трубопроводы; 13 – пульпопроводы; 14 – компрессорная; 15 – насосная осветленной воды; 16 – рудохранилище; 17 – пульпонасосная; 18 – корпус сгущения; 19 – корпус обезвоживания; 20 – склад руды



**Рис.2. Выпуск железной руды при скважинной гидродобыче**

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Экономическая эффективность технологии определяется высоким качеством добываемой сырой руды и низким содержанием  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{CaO}$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5$  (табл.1), что по отдельным элементам в 4-7 раз ниже в срав-

нении с магнитным концентратом, полученным после обогащения добываемых традиционным способом кварцитов.

Таблица 1

| Продукт      | $\text{Fe}_{\text{общ}}$ | $\text{FeO}$ | $\text{F}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | S    | $\text{P}_2\text{O}_5$ |
|--------------|--------------------------|--------------|------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------------------|------|------------------------|
| Богатая руда | 69,0                     | 1,02         | 96,11                  | 1,06           | 0,17         | 0,04         | 0,51                    | 0,01 | 0,03                   |

Снижение содержания  $\text{SiO}_2$  с 3,5-2,5% до 1,5-1% в добываемой руде достигается в процессе размыва руд высоконапорными гидромониторными струями в скважинном очистном пространстве и в период гидроскладирования поднимаемой на поверхность рудной пульпы за счет отмыва глинистых разностей, в результате чего содержание:

- железа в товарной руде повышается на 2,5-3% (до 69,2-69,7%  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ );

- кремнезема, глинозема, серы и фосфора снижается соответственно до 0,7-1,5%, на 0,5-0,7 %, 0,1-0,03%.

Характеристики качества богатых железных руд, добываемых по технологии СГД, позволяют ее использовать без дополнительного обогащения в производстве особо чистых сортов стали.

По данным Оскольского электрометаллургического комбината экономический эффект от снижения содержания в железной руде окиси кремния ( $\text{SiO}_2$ ) на 1% составляет 39 рублей на одну тонну получаемого металла. Институтом «Ленгипромез» определено, что стоимость чугуна, выплавляемого из руды СГД, дешевле на 15% чугуна, выплавляемого и железорудного концентрата предприятий КМА, и на 64% из руд ПО «Кривбассруда».

Технология СГД позволяет автоматизировать практически все технологические операции, создать безопасные горнодобывающие предприятия без при-

сутствия работников в очистных забоях, освоить невостребованные до настоящего времени глубоко залегающие месторождения богатых железных руд КМА, находящиеся в сложных гидрогеологических условиях, обеспечить значительное снижение экологических нарушений природной среды и обеспечить металлургические заводы сырьем, которое по своим ценовым и качественным характеристикам позволяет производить конкурентную продукцию с минимальными собственными затратами на ее производство.

Установлено, что железная руда СГД является оптимальным сырьем для получения высококачественных хладостойких сталей и особо стойкого чугуна. Опытные плавки руды в институте ЦНИИТМАШ, на Оскольском электрометаллургическом комбинате, АО «Тулачермет», АО «Белэнергомаш» дали положительные результаты. После гравитационного обогащения и классификации, руды СГД являются сырьем для порошковой металлургии, ферритного и аккумуляторного производств. Мелкодисперсные руды (шламы, образующиеся при гидроскладировании сырой руды) являются техногенным сырьем для лакокрасочной промышленности.

Приведенные в статье показатели эффективности технологии СГД свидетельствуют о перспективности ее внедрения при освоении месторождений различных руд, находящихся в разуплотненном состоянии.

*Владимир Иванович Стрельцов, д.т.н., профессор;  
Виталий Павлович Петриченко, д.т.н., профессор;  
Юрий Иванович Волков, к.т.н.  
(ОАО «ВИОГЕМ», тел.(4722)26-05-23)*

В.Ю.Линник

### АНАЛИЗ И ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПОДГОТОВКИ И ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Изложены результаты анализа опыта применения технологических схем подготовки угольных пластов к их разработке на шахтах Российской Федерации, дан прогноз развития технологии подготовки и отработки угольных пластов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** схемы подготовки угольных пластов; шахтное поле; комплексно-механизированный забой; прогноз.

#### 1. Анализ опыта применения технологических схем подготовки угольных пластов к их разработке на шахтах Российской Федерации

Принятые на шахте раскройка шахтного поля и планировочные решения во многом определяют последующие варианты подготовки угольных пластов к их отработке.

При прочих равных условиях для выбора наиболее рационального способа подготовки угольного

пласта и его варианта в конкретных горногеологических условиях определяющим является показатель возможной длины выемочного столба.

До недавнего времени основным способом подготовки угольных пластов с углами падения менее  $10^\circ$  являлся погоризонтный, который был рекомендован к широкому применению нормативно-технологическим документом «Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах» 1991 г. издания. В на-

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

стоящее время данный способ имеет меньшее распространение (5%) в связи с тем, что во многих случаях не удается нарезать выемочные столбы большой протяженности (1500 м и более). Погоризонтный способ подготовки угольных пластов на угольных шахтах применяется в двух вариантах: с отработкой выемочных столбов по восстанию и с отработкой выемочных столбов по падению. Первый вариант применяется на пластах мощностью до 1,8 м в условиях их большой обводненности и имеет меньшее распространение по сравнению со вторым вариантом.

В настоящее время основными способами подготовки шахтных полей являются панельный и этажный (95%). Панельный способ подготовки является основным при разработке полого-наклонных (до 35°) угольных пластов и применяется в двух основных вариантах: двукрылые и однокрылые панели, которые в свою очередь имеют свои подварианты. Двукрылая панель (уклонная или бремсберговая) функционирует с односторонней или двусторонней отработкой ярусов в нисходящем или же восходящем порядке. Однокрылая панель (уклонная или бремсберговая) функционирует с отработкой ярусов в нисходящем и восходящем порядке.

В зависимости от ряда факторов на одной шахте или даже на одном пласте возможно применение панельного и погоризонтного способов подготовки, то есть имеет место комбинация этих двух способов, что характерно для мультимодального залегания угольных пластов и деления шахтного поля сбросами на участки, вытянутые по падению. В таком случае говорят о применении комбинированного способа подготовки шахтного поля, являющегося эффективным при нарушенном залегании угольных пластов.

Принятые на шахтах пространственно-планировочные решения, которые в основном определяются способами подготовки и системами разработки угольных пластов, формируют структуру и определяют протяженность горных выработок. Анализ показал, что около трети всей протяженности вскрывающих и подготавливающих выработок приходится на уклоны и бремсберги, что говорит о сложности шахтной инфраструктуры. Данное заключение к тому же подтверждается относительно высокой удельной протяженностью вскрывающих и подготавливающих выработок на 1000 т годовой добычи подземным способом, которая составляет порядка 56 м. Поэтому необходимо изыскивать для конкретных горно-геологических условий наиболее рациональные способы подготовки и системы разработки, определяющие эффективность и безопасность подземной угледобычи.

Размеры выемочных штреков зависят от величины нагрузки на КМЗ. При нагрузках 1 млн.т угля в год и более ширина ленты конвейера должна быть равна 1200 мм и в конвейерном штреке необходимо размещать средства вспомогательного транспорта. Исходя из этих требований, ширина конвейерного штрека в свету должна составлять 5-5,5 м, а ширина вентиляционного штрека – 4,5-5,0 м с высотой в свету – 2,5 м. Форма сечения штреков с породами непо-

средственной кровли прочностью на сжатие  $\sigma_{сж} > 40$  МПа должна быть прямоугольной, а их крепление осуществляться сталеполимерными анкерами длиной 1,8-2,2 м с расстоянием между рядами анкеров 0,8-1,0 м. При наличии слабых пород ( $\sigma_{сж} = 30-40$  МПа) форма сечения штреков – арочная, крепь – металлические податливые арки из спецпрофиля.

Рассмотрим далее особенности схем подготовки угольных пластов в основных угольных регионах России.

### Шахты Кузнецкого бассейна

Основным способом подготовки угольных пластов на шахтах Кузбасса является панельный в двух вариантах (однокрылая и двукрылая). При этом отработка ярусов в панели производится в нисходящем порядке и только в случаях значительного обводнения выемочных полей их отработка производится в восходящем порядке. Объем применения данного варианта составляет 5-7% от общего числа очистных забоев.

При двукрылой панели ее подготовка осуществляется тремя главными наклонными выработками (уклонами, бремсбергами), как правило, парными.

На малогазоносных пластах (менее 5 м<sup>3</sup>/т) фланговые наклонные выработки не проходятся. Отработка ярусов в двукрылой панели производится как последовательно (сначала отрабатываются все ярусы в одном крыле, а затем их отработка производится в другом крыле), так и попеременно - с чередованием их отработки в крыльях.

Объем применения двукрылых панелей не превышает 40%.

При односторонних панелях проходятся главные (уклоны или бремсберги) и фланговые наклонные выработки (печи) по две с каждой стороны участка шахтного поля.

Отработка ярусов в пределах панелей (однокрылой или двукрылой) производится столбовой системой разработки обратным ходом при бесцеликовой технологии или с оставлением целиков угля для охраны выемочных выработок.

Бесцеликовая технология применяется в трех вариантах: без оставления целиков угля с охраной выемочных выработок искусственными ограждениями для их повторного использования, с проведением вентиляционных выработок вприсечку, с проведением парных выработок и погашением целика угля за счет работы очистного забоя. Объемы применения указанных вариантов определяются горно-геологическими условиями разработки угольных пластов и на шахтах Кузнецкого бассейна составляют ориентировочно: с проведением вентиляционных выработок вприсечку, включая оставление целиков шириной до 8-10 м - порядка 7% по числу очистных забоев, с проведением парных выработок и погашением угольного целика за счет работы очистного забоя - 50%, с повторным использованием выработок - 43%. Удельный вес бесцеликовой технологии по объему добычи составляет около 40%, а по числу очистных забоев - более 40%.

На шахтах Кузнецкого бассейна погоризонтный



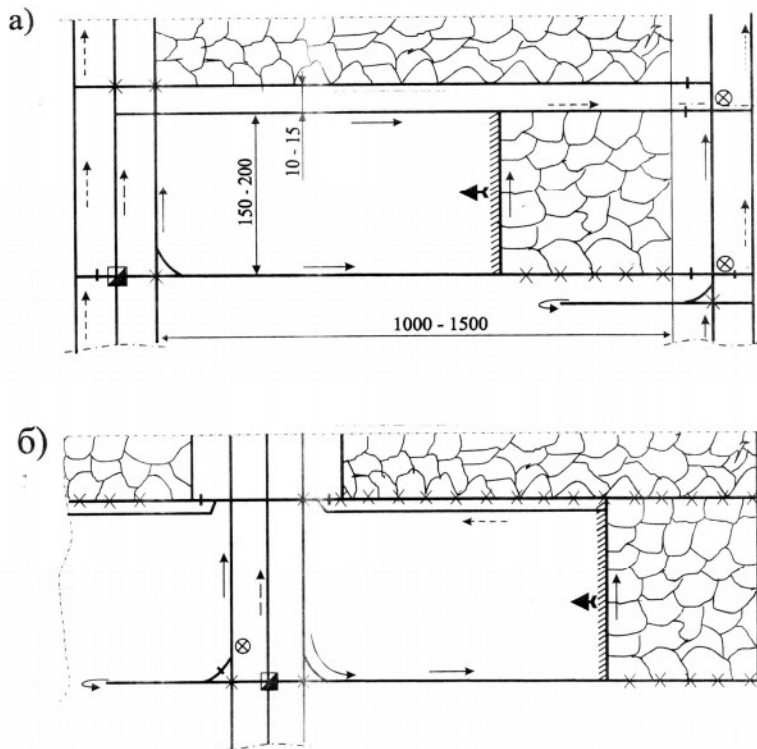
## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

способ подготовки угольных пластов к их отработке имеет весьма малый объем применения, в основном на отдельных участках шахтного поля.

Подготовка угольных пластов на шахтах Кузбасса производится в основном на основе индивидуальной пластовой подготовки. В отдельных случаях при разработке мощных пластов, склонных к самовозгоранию угля, применяют индивидуальную пластовую подготовку в сочетании с полевой, при которой через 300-500 м проводят промежуточные квершлагги для вскрытия отдельных выемочных полей.

На отдельных шахтах Кузнецкого бассейна («Распадская» и др.) на пластах с устойчивой непосредственной кровлей и прочной почвой при длине выемочного поля менее 800 м имеет место применение столбовой системы разработки с разворотом механизированного комплекса на 180°. С этой целью применяют освоенную в практике технологию разворота и подготовку столба.

В Кузбассе порядка 60% лав применяют бесцеликовую охрану целиков путем проведения присечных штреков до глубины горных работ 200–250 м, повторного использования штреков и применения 30-50-метровых временных целиков угля (рис. 1).



**Рис.1. Схема подготовки и отработки пологих пластов:**

а – с охраной выемочных штреков вприсечку с оставлением целиков угля; б – проведение выемочного штрека вприсечку к выработанному пространству

### Шахты Печорского бассейна

На шахтах Печорского бассейна основным способом подготовки угольных пластов является панельный (64,5% забоев). При этом 38,6% очистных забоев приурочены к однокрылым панелям, а 25,9% - к двукрылым. Двукрылые панели отрабатываются длинными столбами в нисходящем или восходящем порядке при одновременной работе забоев только в одном крыле. Нисходящий порядок отработки имеет

большее распространение.

На шахтах Печорского бассейна из-за несовершенных схем вскрытия угольных пластов и отставания подготовки новых горизонтов, к сожалению, применяются, в основном, уклонные панели, для подготовки которых необходимо проходить 4-5 наклонных выработок. Поэтому с учетом наклонных выработок при погоризонтном способе на шахтах бассейна имеет место относительно большая протяженность наклонных выработок, удельный вес которых в общей протяженности вскрывающих и подготавливающих выработок по состоянию на начало 2010 г. составил 36,6%, что осложняет их поддержание. Последнее свидетельствует о несовершенстве применяемых пространственно-планировочных решений. В этой связи необходимо совершенствовать планировочные решения в направлении применения наиболее рациональных вариантов подготовки угольных пластов применительно к конкретным горно-геологическим условиям шахт.

Для крепления и охраны повторно используемых выемочных штреков, как правило, применяют арочную крепь и 2-3-х рядную деревянную органку. В опытным порядке применяют полосы из облегченных бетонных блоков для охраны штреков.

### Шахты Восточного Донбасса

На шахтах Восточного Донбасса основным способом подготовки частей шахтного поля является панельный в варианте двукрылой панели. Относительно малый объем применения имеют однокрылая панель и погоризонтный способ в варианте отработки столбов по восстанию пласта, который имеет место на обводненных пластах с углом падения не более 10°.

В подавляющем большинстве случаев (примерно 90%) на шахтах Донбасса применяют бесцеликовую охрану штреков путем их повторного использования и только в 3-х забоях охрана вентиляционных штреков осуществляется оставленными целиками угля.

Удельный вес наклонных выработок (уклоны и бремсберги) составляет около 29%, то есть почти треть выработок являются наклонными.

На шахтах Донбасса наблюдается большая удельная протяженность горных выработок на 1000 т годовой добычи угля. Так в угольной компании «Гуковуголь» она составила 72 м, а на шахте «Обуховская» – 130 м, в то время как на лучших зарубежных шахтах данная величина не превышает 50 м.

Для крепления выемочных штреков на шахтах региона применяют трапециевидную металлическую податливую крепь и анкеры. Ширина конвейерных штреков в свету составляет 4,0-4,5 м.

## 2. Прогноз развития технологии подготовки и отработки угольных пластов

Как установлено анализом, погоризонтный способ подготовки частей шахтного поля имеет и сохраняет применение в Печорском бассейне, а в других

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

бассейнах он будет иметь ограниченное применение, в основном при отработке отдельных участков шахтного поля.

Как было показано выше, на большинстве российских шахт находит применение панельный способ подготовки шахтного поля в вариантах однокрылой и двукрылой панели с отработкой ярусов в нисходящем порядке, а на обводненных участках – в восходящем порядке. Отработка ярусов производится по бесцеликовой технологии и с оставлением целиков угля для охраны выемочных выработок. В последние годы объем применения варианта оставления целиков угля для охраны выемочных выработок из-за увеличения глубины разработки и внедрения анкерного крепления горных выработок имеет тенденцию к расширению даже в условиях залегания угольных пластов в свитах, что требует проведения научных исследований для уточнения области применения данного варианта. На одиночных пластах для охраны выработок целесообразно применять постоянные целики угля шириной 20-40 м, так как при целиках штреки шириной 4,5-5,0 м можно крепить сталеполлимерными анкерами, что дает экономию по подготовке и отработке участка на 25-30%, резко сокращается продолжительность конечных операций в лаве и перерывы в отработке смежных выемочных столбов.

Бесцеликовые способы охраны выемочных выработок необходимо по условиям безопасности применять:

а) при отработке сближенных пластов в нисходящем порядке, расстояние между которыми не менее 50 м при глубине горных работ до 600 м и 80 м при глубине 600-1000 м;

б) на защитных пластах;

в) на пластах мощностью 0,9-2,0 м, где выработка в крепких породах проходят с использованием БВР.

Мощные пологие пласты с труднообрушаемыми породами кровли следует обрабатывать наклонными слоями с возведением межслоевого перекрытия по опыту шахт КНР.

Известно, что для проведения горных выработок на шахтах России применяют два способа: комбайновый и буровзрывной. При этом комбайновый способ имеет преимущественное применение на шахтах Печорского и Кузнецкого бассейнов, а буро-

взрывной – на шахтах Донецкого бассейна. Основой технического прогресса в области проведения горных выработок следует считать комбайновый способ, как более безопасный и эффективный при соответствующей его технической и организационной подготовке. Поэтому данный способ в перспективе будет расширяться, в том числе и на шахтах Восточного Донбасса, за счет применения проходческой техники нового технического уровня.

Подготовительные выработки, примыкающие к высокопроизводительным лавам, следует проходить сечением, которое обеспечивает размещение конвейеров с шириной ленты 1200 мм, вспомогательного транспорта и подачи необходимого количества воздуха. Площадь сечения конвейерной выработки в свету до осадки должна составлять 12-15 м<sup>2</sup> при нагрузке на лаву 0,5-1,0 млн.т угля в год и 16-20 м<sup>2</sup> при нагрузке более 1,0 млн.т угля. Площадь сечения вспомогательной выемочной выработки должна составлять 10-15 м<sup>2</sup> в свету с шириной 4,0-5,5 м и высотой 2,5-3,5 м.

Сталеполлимерную анкерную крепь следует применять при прочности пород кровли на одноосное сжатие более 30МПа и глубине горных выработок  $H > 25\sigma_{сж}$  кровли (м). К 2020 г. примерно 55-60% горных выработок будет крепиться с помощью анкеров.

Подготовительные выработки должны быть расположены в горном массиве или охраняться целиками угля или полосами из железобетонных податливых костров.

Необходимая скорость проведения выработок для своевременной подготовки участка должна составлять:

- при проведении одинарного штрека комбайном для лавы с мощностью пласта 1,5 м, длиной лавы 200 м и выемочного столба 2000 м с учетом 3-х месячного резерва времени и нагрузке на лаву 500 тыс. т/год – 150 м/мес;

- при проведении спаренных штреков со сбоями двумя комбайнами, мощности пласта 2,5 м, длине лавы 200 м, выемочного столба 2000 м и нагрузке на лаву 1 млн. т угля в год – 250 м/мес;

- при проведении спаренных штреков со сбоями двумя комбайнами, мощности пласта 2,5 м, длине лавы 250 м, выемочного столба 2500 м и нагрузке на лаву 1,5 млн.т угля в год – 300 м/мес.

---

*Владимир Юрьевич Линник, к.т.н., доцент кафедры экономики и управления в нефтегазовом комплексе Государственного университета управления, тел. (499)784-60-05*

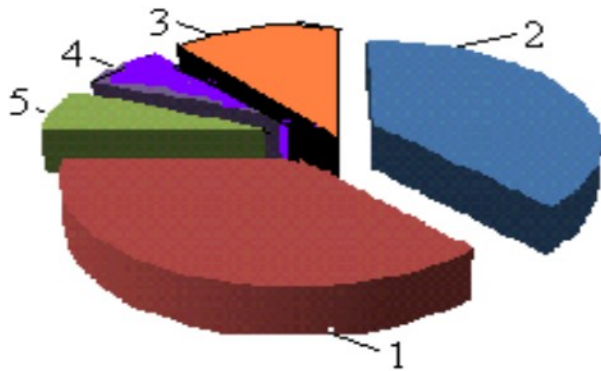
## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДООТЛИВА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД С ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ\*

\* Работа выполняется при поддержке Минобрнауки России ГК №16.525.12.5001

Рассмотрены вопросы совершенствования технологии водоотведения и водоотлива при подземной добыче медно-колчеданных руд этажно-камерными системами разработки с твердеющей закладкой. Показано, что своевременное водоотведение и эффективная очистка шахтных вод способствуют повышению интенсивности и безопасности горных работ, росту темпов набора прочности закладочного массива, снижению деформаций подрабатываемого массива и уменьшению энергетических затрат на очистку шахтных вод, утилизации шламов в отработанных камерах, не требующих технологического обнажения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** этажно-камерная система; твердеющая закладка; интенсивность горных работ; водоотведение; водоотлив; водосборник; шламообразование; очистка.

При подземной добыче медно-колчеданных руд на рудниках Южного Урала нашли преимущественное применение этажно-камерные системы разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства (до 46,1%, рис.1). При этом на Гайском подземном руднике применение систем разработки с камерной выемкой и закладкой составляет 94,3% и только 5,7% приходится на систему подэтажного обрушения. Это вызвано не только с высокой ценностью добываемого сырья, но и, в первую очередь, самовозгораемостью рудной массы ввиду высокого содержания в ней серы.



**Рис.1. Удельный вес применения систем разработки на подземных рудниках Южного Урала:**

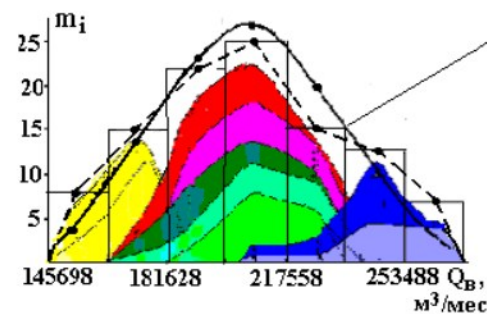
1 - камерная с этажной и подэтажной отбойкой и закладкой (46,1% объема добычи); 2-подэтажное обрушение с торцевым выпуском (23,1%); 3 - горизонтальными слоями с потолкоуступной выемкой и закладкой (15,4% объема добычи); 4 - камерно целиковая (7,7% объема добычи); 5-горизонтальными слоями с почвоуступной выемкой (7,7% объема добычи)

Возрастающие темпы освоения месторождений, применение мощной самоходной и другой горной техники обуславливают рост интенсивности отработки этажей и увеличение производительности подземных рудников. Рост глубины горных работ сопровождается увеличением водопритока естественных поверхностных и подземных вод. На рудниках водоприток в горные выработки достигает 2,3-3,5 млн.м<sup>3</sup> в год, характеризуется повышенным загрязнением шахтных вод шламами (до 3-5 г/дм<sup>3</sup>).

Обработкой статистических данных за 10-ти летний период наблюдений установлено, что сред-

немесячный объем откачиваемой шахтной воды на Учалинском подземном руднике подчиняется нормальному закону распределения с функцией  $\varphi(Q_i)$  (рис.2), что свидетельствует о достаточно высокой вероятности средних значений общего водопритока ( $Q_i$ ).

$$\varphi(Q_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 27606,5} e^{-\frac{(A-205718,3)^2}{2 \cdot 27606,5^2}}$$



**Рис.2. Гистограмма и тренд распределения общего объема откачиваемой воды на Учалинском подземном руднике за последние 10 лет**

Шахтный водоприток формируется за счет поверхностной, подземной и технологической воды, поступающей из горных выработок. Структура шахтного водопритока на Учалинском подземном руднике: с отработанных горизонтов – 33,14%, очистных горизонтов – 65,14% и подготовительно-нарезных горизонтов – 1,72%; на Гайском подземном руднике: с отработанных горизонтов – 19,5%; очистных горизонтов – 71,1% и подготовительно-нарезных горизонтов – 9,4%. Аналогичная структура формирования шахтного водопритока характерна для других подземных рудников Урала.

Производственный цикл добычи руды системами с твердеющей закладкой предусматривает использование высокопроизводительного самоходного бурового, погрузочно-транспортного и другого современного горного оборудования, которое является основным источником шламообразования (рис.3). Это подтверждается долевым поступлением твердых частиц горных пород в главные водосборники подземных рудников (рис. 4).



## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ



Рис. 3. Основные источники шламообразования на подземных рудниках

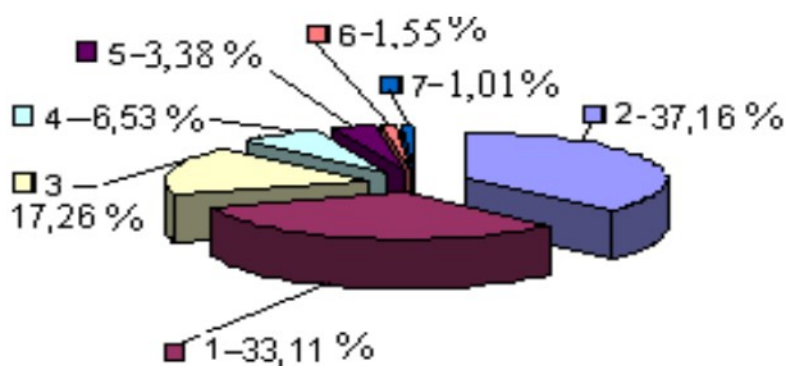


Рис. 4. Диаграмма долевого участия твердых частиц горной породы в заиливании главных водосборников:

- 1—буровая мелочь от бурения; ■ 2—горная масса, используемая для ремонта автодорог; ■ 3—дренаж компонентов закладочной смеси из заложённой камеры;
- 4—компоненты закладочной смеси от промывки закладочного трубопровода; ■ 5—компоненты закладочной смеси, сбрасываемой в горные выработки при ликвидации «пробок» в трубопроводе; ■ 6—повторный возврат шлама из неочищенных кузовов машин и вагонеток; ■ 7—пылевое осаждение частиц горных пород из рудничной атмосферы

Технология водоотведения и водоотлива при подземной отработке медно-колчеданных месторождений системами разработки с твердеющей закладкой предусматривает:

- выбор точки сброса закладочной смеси в отработанное пространство;
- формирование изолирующих перемычек с сопряженными горными выработками, которые оборудуются устройствами для водоотведения излишков технической воды из заложённого массива;
- заполнение камеры закладочной смесью;
- бурение наклонных скважин до мест образования прудков (через каждые 10-15 м высоты заклады-

ваемой камеры), по которым сбрасываются излишки технологической воды;

- обеспечение сбора и отдельного поступления условно «чистой» воды по трубопроводам непосредственно в приемные колодцы насосов, а загрязненной шахтной воды от различных источников шламообразования в главные водосборники.

Главный водосборник и предварительный отстойник воды чаще располагаются в одной типовой горной выработке и разделены между собой конструкцией поперечной перегородки из дерева с наклонными горизонтальными щелевыми отверстиями, обеспечивающими принудительное осаждение твердых частиц горных пород на дно в виде шлама. Для перекачивания осевшего шлама насосом и складирования его в отработанное пространство подземных горных выработок применяется гидротранспортная установка.

Значительные объемы шламов, поступающих в главные водосборники, и низкая интенсивность их очистки обуславливают: увеличение длины главных водосборников (до 180 м на Узельгинском и до 250 м на Учалинском подземных рудниках); сооружение дополнительных предварительных отстойников (длиной 45 м на Узельгинском подземном руднике); возрастание затрат на очистку шламов до 30 % при снижении ресурса насосов главного водоотлива в 1,5-2 раза.

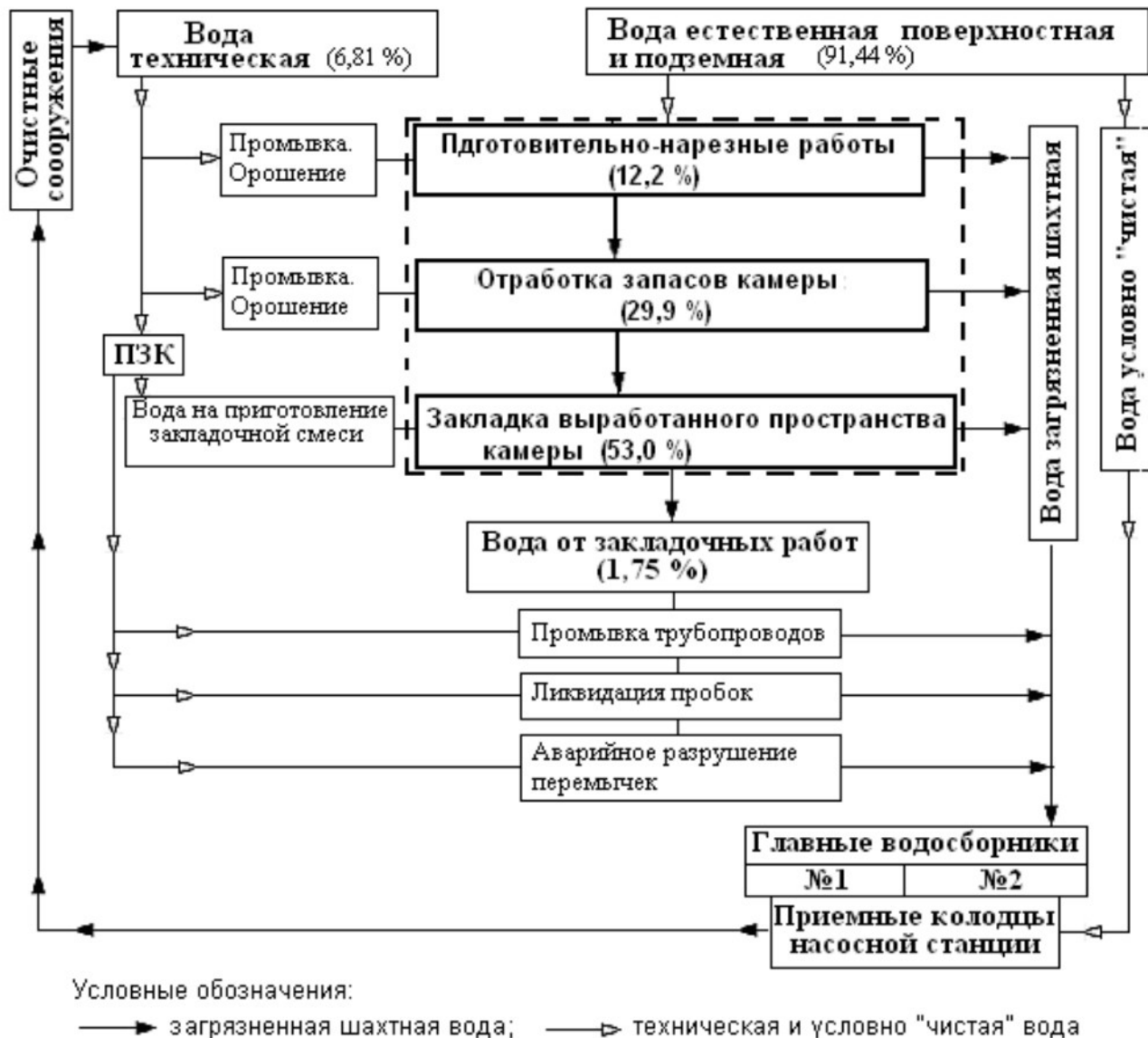
Анализ структуры производственного цикла, осуществляемого при применении этажно-камерной системы разработки с твердеющей закладкой на подземных рудниках ОАО «Учалинский ГОК» (рис.5) и других, показал, что наиболее продолжительными по времени (до 53,0%) являются закладочные работы. При этом доля межпроцессных пауз, связанных с возведением перемычек для изоляции закладочной смеси, ожиданием потери ее подвижности при твердении закладочного массива вследствие излишков технологической воды в составе смеси, достигает 8%.

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

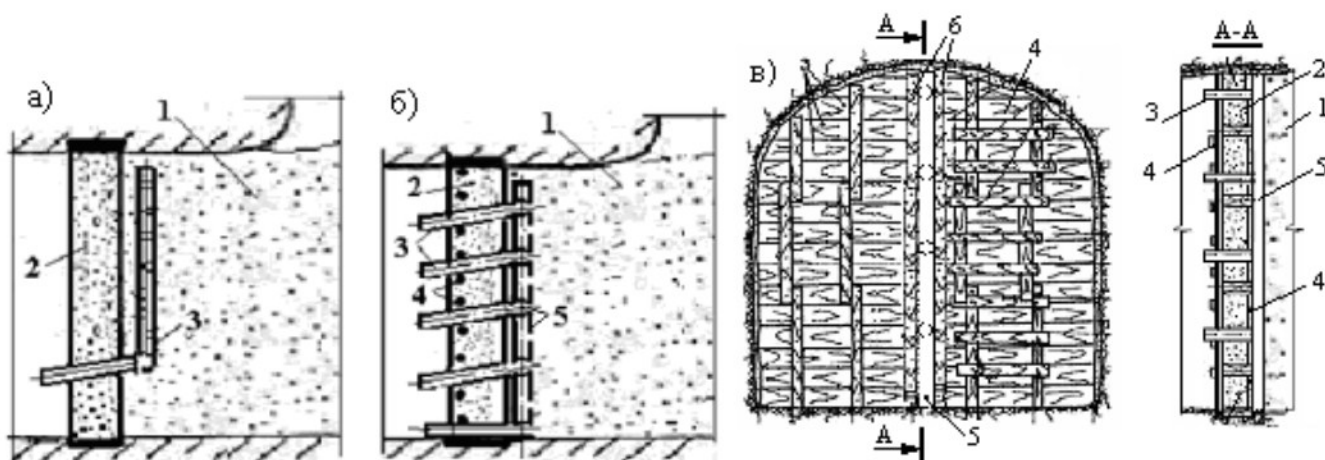
Несовершенство существующей технологии водоотведения и водоотлива при подземной добыче руд системами разработки с твердеющей закладкой является одним из основных факторов, сдерживающих рост производственной мощности подземных рудников.

Для повышения эффективности процесса удаления излишков воды из заложенного массива в основании камеры и уменьшения выхода механических

примесей с дренируемой водой рекомендовано при устройстве перемычки через каждые 1100-1200 мм устанавливать дренажные трубы диаметром 50 мм с наклоном в сторону водоотведения. Концы дренажных труб со стороны закладочного массива соединяются горизонтальными и вертикальными участками перфорированных труб, устроенных по верху каждого слоя закладки (рис. 6).



**Рис. 5. Структурная схема формирования и движения подземных и шахтных вод в подземном руднике, осуществляющем добычу руды системами разработки с твердеющей закладкой**



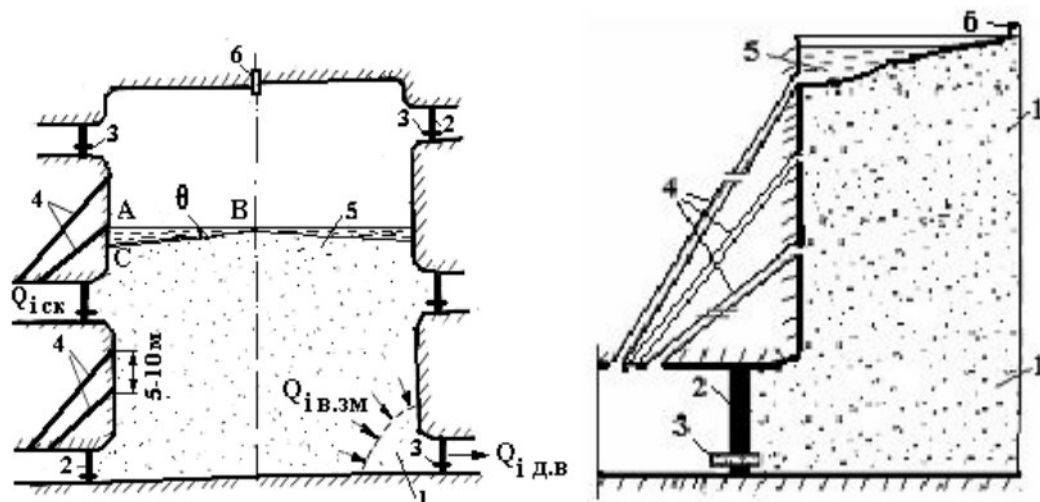
**Рис. 6. Конструкции дренажных устройств в изолирующих перемычках:**  
 (а, б) - 1-закладочный массив; 2- изолирующие перемычки; 3 - дренажные трубы, установленные с наклоном в сторону водоотведения; 4 - каркас армирования из отрезков стержней арматуры; 5 - перфорированная вертикальная (по центру выработки) и горизонтальные дренажные трубы (по уровню верхнего слоя закладки); 6 – брусок из пенопласта

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Замена отводов горизонтальных и вертикальных перфорированных дренажных труб, обмотанных фильтротканью, на квадратные (50x50 мм) или прямоугольные бруски из пенопласта, установленные и закрепленные между двумя деревянными брусками, оправдана конструктивно и проще в изготовлении. Установка дренажных труб в изолирующих перемычках (рис. 6) позволяет воде дренировать из закладки непрерывно в течение всего срока потери подвижности закладочной смеси и набора нормативной прочности закладочным массивом.

Удаление воды из прудка - отстойника обеспе-

чивается верхним сливом ее через специально пробуренные скважины (рис.7). Скважины рекомендуется бурить в закладываемую камеру с откаточного горизонта и из подэтажных выработок таким образом, чтобы расстояние между ними в камере по вертикали составляло 5÷10 м. По мере заполнения камеры закладочной смесью вода из «прудка» сливается через нижнюю скважину. Когда уровень осевшего твердого в закладочной смеси поднимается до устья скважины, она тампонируется, а слив воды из прудка происходит по вышележащей скважине.



**Рис.7. Схемы сброса воды при закладке и водоотдаче заложенного массива через дренажные устройства в изолирующих перемычках:**

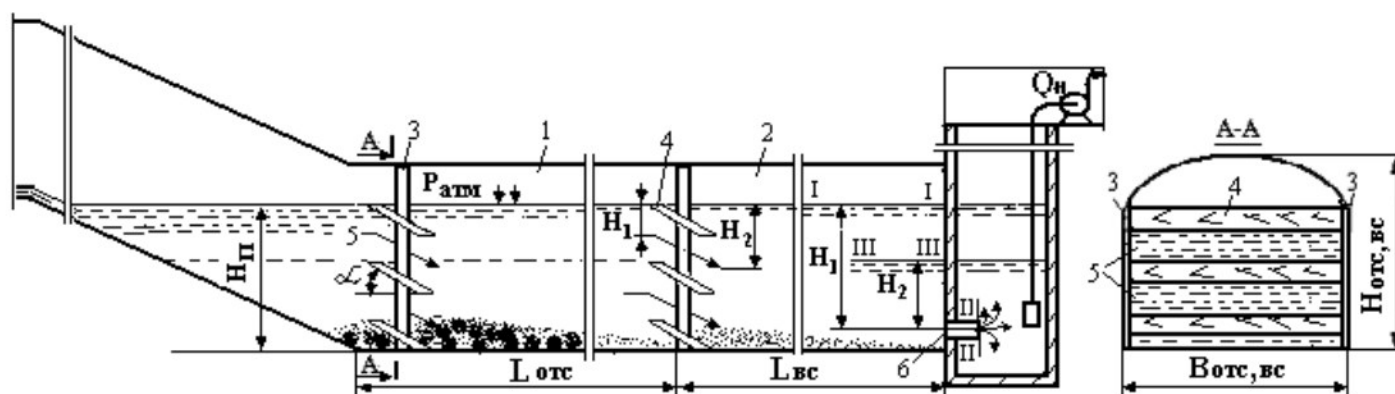
1-закладочная смесь; 2-изолирующая перемычка; 3- дренажная труба; 4- скважины сброса воды из закладываемой камеры; 5- «прудок» отстоявшей воды в закладываемой камере; 6-закладочный трубопровод;  $\theta$  – угол растекания закладочной смеси в камере,  $\theta=2-4^\circ$

Удовлетворительными условиями водоотдачи массива закладываемой камеры следует считать минимальное время перерыва в подаче закладочной смеси, когда вода из прудка, образовавшегося при ее подаче, дренирует через скважину сброса практически полностью.

Для уменьшения длины главных водосборников предложена и реализуется в условиях Учалинского подземного рудника конструкция главного водосборника, совмещенная с предварительным отстойником (рис.8). Разделение главного водосборника и предва-

рительного отстойника по высоте поперечного сечения от дна до начала нижней части сводчатого зазора (для вентиляции) производится деревянной перегородкой с горизонтальными щелевыми зазорами, имеющими наклонные пластины типа «жалюзи».

Дополнительно в начале предварительного отстойника на расстоянии  $L=1$  м от конца съезда устанавливается вторая деревянная перегородка. Это позволяет снизить скорость течения потока до минимального значения ( $\leq 0,1$  м/с) и длину совмещенного с отстойником главного водосборника до 60-90 м.



**Рис. 8. Схема главного водосборника с деревянными перегородками типа «жалюзи»:**

1-водоотливная канавка; 2-предварительный отстойник, совмещенный с главным водосборником; 3-стойка перегородки; 4-пластина (доска) перегородки; 5-щелевые проходные отверстия; 6-перепускная труба с задвижкой



## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Перегородка типа «жалюзи» выполняется из доступных материалов, например, из досок шириной  $b_d=150$  мм и толщиной  $t_d=50$  мм, установленных параллельно дну по всей ширине горной выработки под углом до  $35^\circ$ . Это обеспечивает обтекание перегородки потоком воды и принудительное изменение направления потока и вектора перемещения твердых частиц горной породы в направлении дна со снижением турбулентности потока. В результате ускоряется осаждение твердых частиц на дно предварительного отстойника и главного водосборника. При этом скорости потоков ( $v_{щ0}$ ) через щелевые отверстия должны быть меньше или равны скорости потока ( $v_n$ ) по водосборнику без перегородки, т.е.  $v_{II} \geq v_{щ0} = \varphi \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$ , а количество пластин ( $n_d$ , шт) в перегородке (рис. 8) определяется как:

$$n_d = H_n / (h_{щ} + h_{нд}) = H_n / [h_d (1 + \sin \alpha)],$$

где  $H_n$  – высота потока воды в отстойнике и водосборнике, м;  $h_{щ}$  – высота продольной щели для про-

текания части потока воды,  $h_{щ}=150$  м;  $h_{нд}$  – высота потока, перекрываемая одной пластиной, наклоненной под углом к потоку, м.

Конструкция совмещенного с главным водосборником отстойника предусматривает также применение гидравлической схемы транспортирования шламо-иловой пульпы с включениями твердого до +5 мм дисковым насосом по внешней трубопроводной сети, собранной из быстроразъемных соединений, непосредственно в отработанные горные выработки для складирования.

Совершенствование технологии водоотведения и водоотлива при подземной разработке медноколчеданных месторождений с твердеющей закладкой способствовало росту интенсивности и обеспечению безопасности горных работ при снижении деформаций подрабатываемого массива, а также утилизации шламов в выработанном подземном пространстве.

---

*Марина Владимировна Рыльникова, д.т.н., профессор,  
главный научный сотрудник УРАН ИПКОН РАН;  
Владимир Владимирович Олизаренко, к.т.н., профессор  
ФГБОУ ВПО МГТУ им. Г.И.Носова;  
Марат Музафарович Мингажев, заместитель начальника  
коммерческого управления ОАО «Учалинский ГОК»*

*О.В.Петрова, Д.А.Милкин, К.А.Аверьянов, И.Х.Ахмедьянов*

### ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ АКТИВНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ\*

\* Исследования выполняются при поддержке Минобрнауки России (ГК 16.515.11.5065)

Рассмотрены вопросы активной утилизации техногенного сырья. Предложен критерий оценки сравнительной экономической эффективности данной технологии, позволяющий объективно оценить перспективность реализации рассматриваемых различных направлений активной утилизации практически всех видов техногенных отходов горно-обогатительного производства с позиций экономической целесообразности экологической безопасности всей горнотехнической системы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экономическая эффективность; техногенные отходы; ценность отходов; технологии активной утилизации.

Сложившаяся в России практика освоения недр неизбежно влечет образование значительного количества различных техногенных ресурсов, которые в настоящее время имеют тенденцию только к наращиванию. Ограниченность площадей горных и земельных отводов горнодобывающих производств вызывает острую необходимость изыскания новых способов утилизации техногенного сырья. Вместе с тем, невысокая извлекаемая ценность отходов горно-перерабатывающего производства, необходимость осуществления дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат не способствуют реализации на практике технологий, направленных на их вовлечение в активную эксплуатацию. Следует отметить, что на практике перед горными предприятиями в большей степени встают вопросы экологической

безопасности в области обращения с техногенными георесурсами, которые при традиционном подходе к экономической оценке эффективности георесурсов, как правило, не учитываются. При этом, при обосновании целесообразности вовлечения техногенного сырья в переработку необходимо использовать комплексный подход к обоснованию их ресурсной ценности, основанный на оценке их экономической, экологической и социальной значимости.

Вовлекаемое в полный цикл комплексного освоения георесурсов техногенное сырье обладает определенной ресурсной ценностью, которая обуславливается технологическими возможностями и направлениями их активной утилизации (рис.1):

- утилизация хвостов обогащения руд, пород от проходки подземных выработок, отвалов пустых по-

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

род в закладке выработанного пространства подземных камер;

- использование хвостов обогащения при горно-технической рекультивации карьеров;

- использование хвостов обогащения, некондиционных руд, отходов радиометрической сепарации, некондиционного пиритного концентрата, промышленных вод для извлечения ценных компонентов методами физико-химической геотехнологии;

- использование продуктов выщелачивания техногенного сырья в обогатительном переделе (например, цинковый купорос и т.д.).

Безусловно, вышеуказанные направления вовлечения техногенного сырья в полный цикл комплексного освоения георесурсов способствуют получению горными предприятиями определенного эффекта за счет:

- получения дополнительной товарной продукции;

- экономии на платежах за размещение отходов;

- экономии на платежах за пользование земельными ресурсами;

- экономии на платежах за сброс загрязняющих веществ в водные объекты;

- экономии на материальных ресурсах, используемых при закладке выработанного пространства подземных камер и при обогащении руд.

Вместе с тем, сложный и неоднородный состав, невыдержанные технологические свойства техногенного сырья определяют возможности его активной утилизации в соответствии с ресурсной ценностью сырья.

В качестве оценочного показателя эффективности реализации технологий активной утилизации техногенного сырья предлагается использовать индекс доходности. Индекс доходности технологий активной утилизации техногенного сырья представляет собой отношение суммарного годового экономического эффекта, полученного от вовлечения в обработку различных видов техногенного сырья, к величине дисконтированных капитальных затрат:

$$I_{дох} = \frac{\sum_{i=1}^N \mathcal{E}_i}{\sum_{t=0}^T K_t * \frac{1}{(1+d)^t}}, \text{ дол.ед.}$$

где  $\mathcal{E}_i$  –годовой эффект, достигаемый от реализации  $i$ -ой технологии, руб./год;  $K_t$  - дисконтированные капитальные затраты на  $t$ -ом шаге расчета, руб.;  $d$  – норма дисконта, дол.ед.

Значение индекса доходности будет определять предельно допустимое содержание полезных компонентов в техногенных ресурсах, определяющее то или иное направление их утилизации. По своей сути предлагаемый индекс доходности представляет собой норматив эффективности технологий вовлечения в переработку техногенного сырья, определяющий направление активной утилизации с позиций возможности достижения экономических, экологических и социальных эффектов на 20 лет (данный период яв-

ляется общепринятым для осуществления экономических прогнозов на максимальный срок).

Так, если значение условного содержания полезных компонентов в отходах соответствует значению индекса доходности  $\geq 0,12$  (что соответствует сроку окупаемости технологии 8 лет), тогда техногенные ресурсы подлежат утилизации с предварительным извлечением полезных компонентов; если значение индекса доходности находится в пределах  $0,05 \div 0,12$  (что соответствует сроку окупаемости технологии 8-20 лет), тогда производится целенаправленное складирование техногенного сырья для вовлечения его в переработку в долгосрочной перспективе; если значение индекса доходности  $\leq 0,05$ , тогда осуществляется простое складирование отходов.

Годовой эффект от реализации технологий активной утилизации техногенного сырья складывается из:

- получения дополнительной товарной продукции за счет извлечения ценных компонентов из хвостов обогащения, некондиционных руд, отсева радиометрической сепарации, некондиционного пиритного концентрата, промышленных вод методами физико-химических технологий ( $\mathcal{E}_{извл}^{ц.к.}$ ), руб./год;

- экономии на платежах за счет сокращения объемов размещенных отходов при вовлечении их в активную утилизацию – хвосты обогащения, отвалы пустых пород, породы от проходки подземных выработок, некондиционные руды, складированные в отвалы ( $\mathcal{E}_{экол}^{отх}$ ), руб./год;

- экономии на платежах земельного налога и (или) арендной платы за землю в результате высвобождения земельных ресурсов при складировании отходов в выработанном пространстве карьеров ( $\mathcal{E}_{зем}$ ), руб./год;

- экономии на платежах за сброс загрязняющих веществ в водные объекты, получаемой за счет вовлечения в процессы физико-химической геотехнологии промышленных вод ( $\mathcal{E}_{экол}^{вод}$ ), руб./год;

- экономии на материальных затратах при производстве закладочных работ, получаемой при использовании хвостов обогащения, отвалов пустых пород, пород от проходки подземных выработок в составах закладочных смесей ( $\mathcal{E}_{экон}^{закл}$ ), руб./год;

- экономии на материальных ресурсах при обогатительном переделе, получаемой, например, за счет получения цинкового купороса в результате выщелачивания хвостов обогащения и некондиционных руд, который используется в качестве реагента при обогащении цинковых руд ( $\mathcal{E}_{экон}^{м.р.}$ ), руб./год.

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{извл}^{ц.к.} + \mathcal{E}_{экол}^{отх} + \mathcal{E}_{зем} + \mathcal{E}_{экол}^{вод} + \mathcal{E}_{экон}^{закл} + \mathcal{E}_{экон}^{м.р.}$$

Эффект от получения дополнительной товарной продукции за счет извлечения ценных компонентов рассчитывается по каждому виду техногенного сырья, вовлекаемого в переработку:

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

$$\mathcal{E}_{извл}^{ч.к.} = \sum_{i=1}^n (C_i^{извл} - C_i^{выщ} - C_i^{пер}) * Q_{ii},$$

где  $C_i^{извл}$  - извлекаемая ценность 1 т i-го техногенного сырья, руб./т;  $C_i^{выщ}$  - себестоимость выщелачивания 1 т i-го техногенного сырья, руб./т;  $C_i^{пер}$  - себестоимость переработки продуктивных растворов в расчете на 1 т i-го техногенного сырья, перерабатываемого выщелачиванием, руб./т;  $Q_{ii}$  - объем i-го техногенного сырья, вовлекаемого в переработку t-ой технологией, т/год.

$$C_i^{извл} = \sum_{g=1}^k 0,01 * c_g * \varepsilon_g^{выщ} * \varepsilon_g^{пер} * C_g^{Me} * K_{\$}$$

где  $g=1...k$  - количество извлекаемых полезных компонентов из 1т i-го техногенного сырья;  $c_g$  - содержание g-го полезного компонента в 1т i-го техногенного сырья, %;  $\varepsilon_g^{выщ}$  - извлечение при выщелачивании g-го полезного компонента в 1 т i-го техногенного сырья, дол.ед.;  $\varepsilon_g^{пер}$  - извлечение при переработке продуктивных растворов g-го полезного компонента из 1 т i-го техногенного сырья, дол.ед.;  $C_g^{Me}$  - стоимость g-го полезного компонента на рынке металлов, \$/т;  $K_{\$}$  -

курс доллара, руб./\$.

Экономия на платежах за размещение отходов также рассчитывается по каждому виду техногенного сырья, вовлекаемого в активную утилизацию – хвосты обогащения, отвалы пустых пород, породы от проходки подземных выработок, некондиционные руды, складированные в отвалы:

$$\mathcal{E}_{экол}^{отх} = \sum_{i=1}^n (C_i^{1m} - Z_i) * Q_{ii},$$

где  $C_i^{1m}$  - норматив платы за размещение 1 т i-ых отходов, вовлекаемых в активную утилизацию, руб./т,  $Z_i$  - затраты на размещение 1 т i-ых отходов в выработанное пространство карьера, руб./т.

Норматив платы за размещение отходов производства и потребления определяется согласно Постановлению Правительства РФ от 01.07.2005 №410 (табл.1). Нормативы платы за негативное воздействие на окружающую среду, установленные в 2003 г., применяются в 2012 г. с коэффициентом 2,05; нормативы, установленные в 2005 г., - с коэффициентом 1,67 (Федеральный закон от 30.11.2011 №371-ФЗ).

Таблица 1

**Нормативы платы за размещение отходов производства и потребления, рублей\***

| Вид отходов (по классам опасности для окружающей среды) | Единица измерения | Норматив платы за размещение 1 единицы измерения отходов в пределах установленных лимитов размещения отходов |
|---|-------------------|--|
| Отходы I класса опасности (чрезвычайно опасные)         | тонна             | 1739,2   |
| Отходы II класса опасности (высокоопасные)              | тонна             | 745,4  |
| Отходы III класса опасности (умеренно опасные)          | тонна             | 497  |
| Отходы IV класса опасности (малоопасные)                | тонна             | 248,4  |

<\*> Нормативы платы за размещение отходов производства и потребления в пределах установленных лимитов применяются с использованием:

- коэффициента 0,3 при размещении отходов на специализированных полигонах и промышленных площадках, оборудованных в соответствии с установленными требованиями и расположенных в пределах промышленной зоны источника негативного воздействия;
- коэффициента 0 при размещении в соответствии с установленными требованиями отходов, подлежащих временному накоплению и фактически использованных (утилизированных) в течение 3 лет с момента размещения в собственном производстве в соответствии с технологическим регламентом или переданных для использования в течение этого срока.

Экономия на платежах земельного налога и (или) арендной платы за землю в результате высвобождения земельных ресурсов при складировании отходов в выработанном пространстве карьеров определяется, исходя из ставки земельного налога и (или) арендной платы за пользование земельными ресурсами ( $C_{пл}^{зем}$ , руб./год):

$$\mathcal{E}_{зем} = \sum_{i=1}^n C_{пл}^{зем}.$$

Экономия на платежах за сброс загрязняющих веществ в водные объекты, получаемая за счет вовлечения в процессы физико-химической геотехнологии промышленных вод, рассчитывается, исходя из расхода вовлекаемых в технологический передел

промышленных вод на 1 т выщелачиваемого техногенного сырья:

$$\mathcal{E}_{экол}^{вод} = \sum_{k=1}^s C_k * Q_k * K_{экол} * Q_{ii},$$

где  $k$  - вид загрязняющего вещества;  $C_k$  - ставка платы за сброс 1 тонны k-го загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов сбросов (руб.) (в ред. Постановления Правительства РФ от 01.07.2005 №410) - нормативы платы за негативное воздействие на окружающую среду, установленные в 2003 г., применяются в 2012 г. с коэффициентом 2,05; нормативы, установленные в 2005 году, - с коэффициентом 1,67 (Федеральный закон от 30.11.2011 №371-ФЗ);  $Q_k$  - предельно допустимый сброс k-го загрязняющего



## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

вещества (т);  $K_{экол}$  - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости поверхностного водного объекта (для республики Башкортостан – 1,14).

Экономия на материальных затратах при производстве закладочных работ, получаемая при использовании хвостов обогащения, отвалов пустых пород, пород от проходки подземных выработок в составах закладочных смесей, рассчитывается, исходя из фактического снижения себестоимости закладочных работ горнодобывающего предприятия ( $C_{закл}$ , руб./т) за счет использования техногенных отходов в составе  $1 \text{ м}^3$  закладочной смеси ( $\sum_{i=1}^n Q_{ti}$ , т):

$$\mathcal{E}_{экон}^{закл} = C_{закл} * \sum_{i=1}^n Q_{ti}.$$

Дополнительная экономия на материальных ресурсах при обогатительном переделе, получаемая за счет получения цинкового купороса в результате выщелачивания хвостов обогащения и некондиционных руд, который используется в качестве реагента при обогащении цинковых руд, рассчитывается, исходя из количества получаемого из 1 т перерабатываемого техногенного сырья материального ресурса ( $Q_{м.р.}$ , т) и его фактической стоимости ( $C_{м.р.}$ , руб./т):

$$\mathcal{E}_{экон}^{м.р.} = Q_{м.р.} * C_{м.р.} * Q_{ti}.$$

Удельные капитальные затраты  $K_i$  определяются, исходя из проектной сметы капитальных затрат на реализацию технологии по годам. Этот показатель может быть оценен по данным предприятий – аналогов, реализующих подобные технологии.

Таким образом, предлагаемый критерий - индекс доходности технологий активной утилизации техногенного сырья - позволяет объективно оценить перспективность реализации рассматриваемых различных направлений утилизации практически всех видов техногенных отходов горно-обогатительного производства с позиций экономической целесообразности экологической безопасности всей горнотехнической системы.

Реализация предложенной методики произведена для оценки возможных направлений технологий активной утилизации хвостов обогатительной фабрики ОАО «Учалинский ГОК». В качестве альтернативных направлений рассматривались следующие: складирование хвостов обогащения в выработанном пространстве Учалинского карьера без предварительного извлечения полезных компонентов и с предварительным выщелачиванием техногенного сырья.

Расчет индекса доходности альтернативных направлений утилизации текущих хвостов обогащения Учалинской обогатительной фабрики представлен в табл.2.

Таблица 2

### Расчет индекса доходности альтернативных технологий утилизации текущих хвостов обогащения Учалинской обогатительной фабрики

| № п/п  | Показатели  | Единица измерения | Значение |
|--------|---|-------------------|----------|
| 1      | Производительность по хвостам обогащения альтернативных технологий:   | тыс.т/год         |          |
| 1.1.   | с предварительным извлечением полезных компонентов сернокислотным выщелачиванием с последующим складированием в выработанном пространстве подземных камер |                   | 1500     |
| 1.2.   | складирования текущих хвостов обогащения в выработанном пространстве Учалинского карьера  |                   | 6000     |
| 2      | Капитальные вложения на реализацию альтернативных технологий:   | млн. руб.         |          |
| 2.1.   | с предварительным извлечением полезных компонентов сернокислотным выщелачиванием с последующим складированием в выработанном пространстве подземных камер |                   | 275,79   |
| 2.2.   | складирования текущих хвостов обогащения в выработанном пространстве Учалинского карьера  |                   | 1832     |
| 3      | Извлекаемая ценность текущих хвостов обогащения:  | руб./т            | 495,04   |
| 3.1.   | то же   | млн. руб./год     | 742,56   |
| 4      | Экономия на платежах за размещение отходов:   | руб./т            | 56,2     |
| 4.1.   | то же   | млн. руб./год     |          |
| 4.1.1. | с предварительным извлечением полезных компонентов сернокислотным выщелачиванием с последующим складированием в выработанном пространстве подземных камер |                   | 84,3     |

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

| № п/п  | Показатели  | Единица измерения | Значение |
|--------|---|-------------------|----------|
| 4.1.2. | складирования текущих хвостов обогащения в выработанном пространстве Учалинского карьера  |                   | 337,2    |
| 5      | Дополнительная экономия на материальных ресурсах за счет получения цинкового купороса   | руб./т            | 333,2    |
| 5.1.   | то же   | млн. руб./год     | 499,8    |
| 6      | Экономия на закладочных работах:  | руб./т            | 65,17    |
| 6.1.   | то же   | млн. руб./год     | 97,755   |
| 7      | Затраты на выщелачивание текущих хвостов обогащения:  | руб./т            | 238,68   |
| 7.1.   | то же   | млн. руб./год     | 358,02   |
| 8      | Затраты на переработку продуктивных растворов методом экстракции:   | руб./т            | 700      |
| 8.1.   | то же   | млн. руб./год     | 1050     |
| 9.     | Годовой эффект альтернативных технологии:   | млн. руб./год     |          |
| 9.1.   | с предварительным извлечением полезных компонентов сернокислотным выщелачиванием с последующим складированием в выработанном пространстве подземных камер (3.1.+4.1.1.+5.1.+6.1.-7.1.-8.1.) |                   | 16,395   |
| 9.2.   | складирования текущих хвостов обогащения в выработанном пространстве Учалинского карьера (п.4.1.2.)   |                   | 337,2    |
| 10.    | Индекс доходности альтернативных технологий утилизации текущих хвостов обогащения Учалинской обогатительной фабрики:  | дол.ед            |          |
| 10.1.  | с предварительным извлечением полезных компонентов сернокислотным выщелачиванием с последующим складированием в выработанном пространстве подземных камер (9.1./2.1.)                       |                   | 0,06     |
| 10.2.  | складирования текущих хвостов обогащения в выработанном пространстве Учалинского карьера (9.2./2.2.)  |                   | 0,18     |

Выполненные расчеты показали, что в настоящее время, ввиду низкой извлекаемой ценности текущих хвостов обогащения, не целесообразна их переработка методами физико-химической геотехнологии (значение индекса доходности 0,06), и, напротив, перспективна их целенаправленного складирования в выработанном пространстве Учалинского карьера (индекс доходности равен 0,18, что соответствует сроку окупаемости технологии 5 лет).

Таким образом, предлагаемый критерий оценки целесообразности вовлечения в переработку техногенного сырья на основе его ресурсной ценности, основанной на экономических, экологических и социальных эффектах, позволяет не только осуществить выбор предпочтительного варианта на данный текущий момент, но и формировать стратегию обращения с техногенными отходами на текущую, средне- и долгосрочную перспективу.

*Ольга Викторовна Петрова, к.т.н., доцент ФГБОУ ВПО МГТУ им.Г.И.Носова;*  
*Дмитрий Александрович Милкин, к.т.н., вед. горный инженер ООО «Северсталь-Золото»;*  
*Константин Анатольевич Аверьянов, аспирант ФГБОУ ВПО МГТУ им.Г.И.Носова;*  
*Ильяс Харисович Ахмедьянов, технический директор ОАО «Учалинский ГОК»*

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ**

Изложена концепция непрерывного автоматизированного мониторинга морских сооружений на основе 3D-модели объекта и выполнения натуральных наблюдений с оценкой технического состояния сооружения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** морская буровая платформа; мониторинг; 3D-модель.

Морские буровые и добывающие платформы являются опасными производственными объектами и характеризуются высокой аварийностью. По данным Британской Ассоциации нефтегазовой индустрии на континентальном шельфе, за период с 1990 по 2007 гг. только на стационарных платформах произошло 6269 несчастных случаев и опасных событий [4]. В США за период с 2000 по 2011 г.г. в результате аварий на морских нефтегазовых сооружениях погибло около 70 человек, 1349 человек получили травмы различной степени тяжести [5]. Экономический ущерб от потери одной нефтяной платформы составляет от 200 до 1000 миллионов долларов США [6], а масштабные разливы нефти способны привести к экологической катастрофе.

По данным исследований, аварии на морских платформах чаще всего происходят по причине потери контроля над скважиной, а также утечки углеводородов с последующим воспламенением [4]. Однако снижение несущей способности конструкций в результате накопления усталостных повреждений представляет собой не менее серьезную опасность, что в свое время продемонстрировала авария на норвежской платформе «Александр Кьелланд». Эта катастрофа, унесшая в 1980 г. жизни 123 человек, произошла в результате скоротечного прогрессирующего обрушения опорной части платформы, вызванного образованием усталостной трещины. Платформа перевернулась и затонула менее чем за 10 минут [7].

Авария на норвежской платформе послужила серьезным уроком для нефтяной промышленности. В течение 30 последующих лет надежности и долговечности конструкций морских нефтегазовых сооружений в США, Норвегии, Великобритании и других странах, активно осваивающих континентальный шельф, уделялось большое внимание. В настоящее время, благодаря усовершенствованию методов проектирования, инспекции и ремонтов эти конструкции в целом могут выдерживать значительные объемы коррозии и усталостных повреждений без угрозы потери общей несущей способности [8]. Однако для того, чтобы избежать катастрофических последствий и вовремя принять необходимые восстановительные меры, эти прогрессирующие повреждения необходимо измерять, отслеживать и понимать.

Исследования показывают, что аварии на морских буровых и добывающих платформах отличаются высокой скоростью развития разрушительных процессов и эскалацией события. При экстремальных воздействиях и нагрузках (пожар, взрыв, экстремальные природные воздействия и т.п.) лавинообразный процесс разрушения технологического оборудования и конструкций платформ и последующая потеря не-

сущей способности могут произойти за 15-20 минут [1], а при ослаблении прочностных свойств сооружения катастрофические последствия могут наступить и при менее значительных нагрузках. Ясно, что такие чрезвычайные ситуации легче предупредить, чем адекватно на них отреагировать и справиться с ними в случае возникновения.

Для контроля ситуации важно иметь оперативную и разностороннюю информацию. Если бы осуществлялся постоянный оперативный и полномасштабный мониторинг технического состояния морских платформ, то многих аварий на морских сооружениях удалось бы избежать. Поэтому создание комплексной системы мониторинга морских нефтегазодобывающих сооружений является первоочередной задачей для компаний-операторов. К сожалению, в России отсутствует нормативно-правовая и техническая база по созданию систем мониторинга технического состояния морских платформ в течение расчетного срока службы, которая должна обеспечивать поддержание приемлемого уровня надежности и безопасности. В связи с этим в отечественных проектах на строительство морских инженерных сооружений отсутствуют мероприятия по созданию систем мониторинга, направленные на обеспечение безопасности объектов при эксплуатации.

Мониторинг технического состояния морских сооружений должен состоять из непрерывного автоматизированного дистанционного контроля (выполняемого с помощью приборов и датчиков удаленного доступа, установленных стационарно) состояния конструкций и проведения периодических инспекций. Периодичность проведения инспекций устанавливается проектом мониторинга технического состояния объектов обустройства месторождения. Инспекции должны проводиться специализированными организациями, аккредитованными в соответствии с международным стандартом ISO/IEC 17020, оснащенными современным оборудованием и имеющими в своем составе высококвалифицированных и опытных специалистов. Некоторые виды инспекций могут выполняться силами подразделений и служб эксплуатирующей организации при условии наличия необходимых лицензий и свидетельств на право производства работ.

Автоматизированный дистанционный мониторинг состояния конструкций морских платформ, выполняемый автоматизированными измерительными системами, позволяет своевременно реагировать на негативные изменения и оперативно принимать необходимые меры, позволяющие предотвратить, существенно снизить вероятность или уменьшить последствия аварийных происшествий [2]. Автоматизи-



рованный мониторинг является дополнительным по отношению к инспекциям, т.к. возможности методов автоматизированного дистанционного мониторинга ограничены. В большинстве случаев эти методы могут лишь сигнализировать о факте наступления предельного состояния, не предупреждая его. Однако непрерывный дистанционный мониторинг наиболее важных элементов морской платформы может существенно снизить вероятность наступления критических состояний конструкции, которые приводят к потере несущей способности конструктивных элементов или полной непригодности ее к эксплуатации, таких как:

- разрушение любого характера;
- потеря устойчивости формы;
- потеря устойчивости положения;
- качественное изменение конфигурации;
- переход в изменяемую систему.

Отработанных методов автоматизированного дистанционного мониторинга значительно меньше, чем методов обследования с участием операторов. Достаточно высокую надежность и эффективность подтвердили следующие методы дистанционного мониторинга состояния морских инженерных сооружений, применяемые на объектах морской добычи нефти и газа [2]:

- спутниковый мониторинг – контроль отклонения элементов конструкции от проектного положения; измерение смещений;
- мониторинг напряженно-деформированного состояния – контроль локальных изменений напряжения критических зон конструктивных элементов, фиксация образования трещин на ранней стадии;
- вибромониторинг – контроль динамических характеристик (частоты и формы собственных либо вынужденных колебаний) конструктивных элементов в различных контрольных зонах; регистрация распространяющихся акустических волн напряжения, возникающих при структурных изменениях в материалах.

Метод автоматизированного мониторинга для обнаружения возможных повреждений и контроля состояния конструкции объекта должен устанавливаться проектом мониторинга технического состояния объекта с учетом его конструктивных особенностей. Наиболее эффективным решением является использование комплексных систем мониторинга, объединяющих различные методы контроля конструктивных элементов морского инженерного сооружения в рамках единой программно-аппаратной платформы.

Разработка проекта автоматизированного дистанционного мониторинга морских инженерных сооружений включает следующие этапы:

- создание 3D-модели сооружения;
- расчет положения критических областей и определение точек мониторинга;
- инструментирование объекта, проведение испытаний и анализ данных;
- формирование валидированной расчетной модели, выполнение расчетов; анализ результатов.

Создание проекта мониторинга любого морского инженерного сооружения должно начинаться с созда-

ния 3D модели объекта с помощью специализированного программного обеспечения. Разрабатывается программа для нелинейного (динамического) трехмерного анализа конструкций морской платформы. Программный продукт 3D-модели объекта – морской буровой платформы – создается на основе конструкторских чертежей сооружения; свойств материалов, используемых при строительстве; расположения общесудовых и специальных систем, устройств и оборудования; весовых нагрузок (масса и гидростатическое давление). От проработки детализации 3D-модели объекта зависит достоверность вероятностных расчетов, вызываемых деформациями в конструкции.

Программа 3D-модели объекта обладает решениями, которые позволяют:

- моделировать различные режимы работы и состояния сооружений – расчетные технологии программы дают полную картину процессов поведения несущих конструкций объекта;
- исследовать процессы при авариях на морской платформе, т.е. решать проблемы безопасности при эксплуатации;
- оценивать остаточный ресурс по результатам напряженно-деформированного состояния сооружения;
- уточнять достоверность расчетов напряженно-деформированного состояния сооружения по результатам натурных наблюдений.

Компьютерное моделирование морских платформ по методу конечных элементов используется для трехмерного анализа поведения морских платформ в различных условиях обстановки для общей оценки технического состояния сооружения на основе результатов оценки усталостной долговечности отдельных элементов конструкции, а также для проведения инспекций и ремонтов по фактическому состоянию сооружения. Таким образом, с помощью 3D-модели объекта выполняется расчет критических областей внутренних усилий, возникающих в элементах конструкции морских платформ, на воздействие всех видов статических и динамических нагрузок. Такая модель достаточно полно и достоверно учитывает жесткость конструкции на изгиб, сдвиг и кручение при произвольном пространственном воздействии нагрузок.

По результатам расчетов критических областей объекта разрабатывается проект реализации наблюдательной сети, которым подтверждается целесообразность выбора типа датчиков автоматического дистанционного мониторинга и точек их размещения на морской платформе с целью обеспечения достаточного и надежного определения исследуемых параметров, а также устанавливается точность измерения деформационных величин (нагрузок).

Система сбора информации о состоянии платформы состоит из расположенных как во внутренних помещениях, так и снаружи датчиков, устойчивых к воздействиям внешней среды и обеспечивающих достаточное и надежное определение измеряемых параметров. Техническая структура системы сбора информации строится на основе унифицированных

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

приборов с достаточной для обеспечения высокой надежности степенью резервирования. Сбор данных датчиками системы мониторинга проводится в полностью автоматизированном режиме. Измерительная сеть представляет собой структуру, состоящую из любого количества датчиков, обмен информацией с которыми происходит по кабельным линиям, при этом электропитание датчиков обеспечивается, как правило, с помощью этого же кабеля, по которому с датчика в отдел мониторинга поступают данные измерений. Данные с датчиков считываются в соответствии с предварительно сконфигурированным временным графиком измерений и передаются в отдел мониторинга эксплуатирующей организации.

Независимо от места размещения оборудования, потоки данных объединяются в следующие функциональные контуры [2]:

- контур средств мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих конструктивных элементов;
- контур средств мониторинга параметров вибраций и динамических воздействий;
- контур средств мониторинга пространственного положения и геометрии сооружения.

Система сбора информации обеспечивает непрерывный мониторинг состояния элементов конструкции и передачу данных, поступающих с удаленных датчиков, в отдел мониторинга. В отделе мониторинга поступающая информация о состоянии платформы обрабатывается программным обеспечением 3D-модели сооружения, которым производится анализ данных и прогнозный расчет поведения конструкции. При этом выполняется верификация расчетной 3D-модели, т.е. измеренные (натурные) величины деформаций конструктивных элементов сравниваются с вычисленными. По результатам верификации уточняется компьютерная 3D-модель объекта. Такая концепция 3D-модели позволяет достичь высокой точности созданной модели морской платформы. С помощью компьютерной трехмерной модели объекта по результатам натурных наблюдений решаются следующие задачи [2]:

- непрерывный контроль напряженно-деформированного состояния наиболее ответственных и нагруженных конструкций и узлов сооружения во время эксплуатации;
- обеспечение персонала сооружения оперативной информацией о возможных опасностях, обусловленных внешними воздействиями, о состоянии корпусных конструкций – для принятия своевременных мер по предотвращению или снижению возможных последствий этих воздействий;
- создание электронного архива о внешних воздействиях и состоянии корпусных конструкций;
- сбор, анализ, хранение и управление показаниями датчиков в единой базе данных;
- формирование и вывод отчетной документации;
- интеграция с другими автоматизированными системами.

Опасные ситуации, которые могут возникнуть в

связи с изменением состояния наблюдаемого объекта, должны быть своевременно распознаны и предотвращены. Оценка технического состояния несущих элементов конструкции морской буровой и добывающей платформы проводится путем всестороннего анализа данных, полученных по всем видам мониторинга. Обработка и анализ данных выполняется с применением надежных современных алгоритмов со статистическим контролем качества. В процессе обработки данных выполняется их предварительная обработка с целью оценки степени достоверности результатов при заданном количестве измерений и своевременного определения погрешностей, искажающих результаты измерений. Анализ выполняется с использованием методики оценки по категориям технического состояния. Для этого в начале работы по созданию 3D-модели объекта определяются критические параметры конструктивных элементов и состояний объекта, а также круг лиц, ответственных за принятие мер в случае возникновения критической ситуации. Практически в полностью автоматизированном процессе данные, полученные при мониторинге от датчиков, сравниваются с допускаемыми отклонениями на предмет своевременного распознавания изменений состояния наблюдаемого объекта и незамедлительного информирования об этом пользователя. В системе автоматизированного мониторинга составление отчетов выполняется в автоматическом режиме. При этом разработчиком 3D-модели объекта по согласованию с эксплуатирующей организацией разрабатывается план составления отчетов, в котором определяются конкретные характеристики автоматически создаваемых отчетов.

В процессе эксплуатации разработчиком системы осуществляется поддержка программного обеспечения, позволяющая пользователю проводить исследования изменения параметров объекта при различных нагрузках.

Таким образом, организация непрерывного автоматизированного дистанционного мониторинга буровой морской платформы обеспечивает непрерывное отслеживание технического состояния объекта в режиме реального времени, повышает производственную и экологическую безопасность, снижает текущие расходы на инспектирование и ремонт. Создание большой и сложной автоматизированной системы мониторинга морской платформы требует объединения усилий многих специалистов и организаций, обладающих необходимым опытом, лицензиями и сертифицированным производством по направлению работ.

### Литература

1. См.: Анализ катастроф на морских нефтедобывающих платформах» <http://www.ano-rtg.ru/analiz.htm> и Самусева Е.А. Проблемы аварийных взрывов на морских нефтегазовых объектах // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – 8.
2. Кирилин М.А. Нормативно-правовое обеспечение внедрения новейших технологий мониторинга и обеспечение безопасности морской деятельности информационных центров, мониторинг и оценка рисков // Транспортная безопасность и технологии. – 2008. – 3.

3. ISO/IEC 17020:1998 *General criteria for the operation of various types of bodies performing inspection.*

4. The United Kingdom Offshore Oil and Gas Industry Association (Oil and Gas UK)/ *Accident Statistics for Offshore Units on the UKCS 1990-2007. April 2009.*

5. US Bureau of Safety and Environmental Enforcement <http://www.bsee.gov/Inspection-and-Enforcement/Accidents-and-Incidents/Accident-Investigations.aspx>

6. MARSH Energy Practice. *The 100 Largest Losses 1972-2009 Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon*

*Industries.*

6. Материалы семинара «Уроки катастрофы платформы «Александр Кьелланд»  
<http://www.ptil.no/konstruksjonssikkerhet/laerepunkter-fra-kielland-ulykken-sentralt-paa-petroleumstilsynets-konstruksjonsseminar-article7211-99.html>

7. Condition Assessment of Aged Ships and Offshore Structures. 17th INTERNATIONAL SHIP AND OFFSHORE STRUCTURES CONGRESS, 16-21 AUGUST 2009, SEOUL, KOREA.

*Олег Николаевич Горбунов, ведущий инженер ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», тел. (8512)40-2832;*

*Светлана Анатольевна Машкова-Хоркина, к.г.н., директор по связям с зарубежными странами, Научно-технический фонд «Сертификационный центр «КОНТСТАНД»*

*Л.С.Сафонов, А.В.Волохов*

### СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

При разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых проводится геометризация их методами математической статистики и теории вероятностей. Для получения объективных значений параметров разведки, подсчета запасов и эксплуатации необходимо устанавливать характер изменчивости изучаемых показателей в геохимическом поле месторождения, после чего применять соответствующие методы анализа. Изменчивость показателей может протекать в виде стационарного либо нестационарного случайного процесса.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** показатели месторождения; случайный процесс; стационарный процесс; нестационарный процесс; закон распределения.

При разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых часто выполняются работы по геометризации с целью рационализации параметров разведки и подсчета запасов, решения вопросов планирования горных работ, прогнозирования запасов и отдельных их параметров и т.д.

Как известно, оруденение представляет собой слоисто-струйчатую структуру геохимического поля, которое можно представить в виде скалярного и (или) векторного полей. В принципе более общим и универсальным является механизм тензорного поля, но его применение наталкивается на известные трудности, преодоление которых относится к задачам геомеханики горных массивов.

Обычно показатели месторождений представляются в виде более или менее сложных топографических поверхностей или поверхностей топографического порядка. Эти достаточно сложные «фактические» поверхности могут быть аппроксимированы более простыми формальными выпуклыми или вогнутыми поверхностями или в частных случаях плоскостями.

Любая меняющаяся система, находящаяся под влиянием случайных факторов, представляет собой случайный процесс [1]. В силу случайности и неопределенности значений показателя в точках их определения случайные процессы называются вероятностными или стохастическими. Случайный процесс нужно понимать как семейство случайных величин, определенных на некотором вероятностном пространстве  $(G, W, P)$ , где  $G$  – пространство точек  $w$ ;  $W$  – поле множеств из  $G$ ;  $P(A)$  – вероятностная мера для множеств  $A$  из  $W$ .

Согласно теореме Колмогорова случайный процесс может существовать, если данное семейство распределений удовлетворяет условиям симметрии и согласованности [2]. Следует отметить, что исследователи в области геометризации месторождений значительно упрощают понятие случайных процессов, выходя за рамки строгих теоретических ограничений и условий.

При геометризации месторождения очень важно установить характер процесса распределения изучаемых показателей, так как именно на этой основе решаются вопросы о рационализации и эффективности геологоразведочных и горных работ. Эта задача выполняется путем применения методов математической статистики и теории вероятностей.

На ранних этапах развития горной геометрии (первая треть 20-го века) применение математических методов в геологии и горном деле ограничивалось использованием нормального закона распределения показателей месторождений (С.Ю.Даборжинский, 1909; В.В.Билибин, 1930; Д.А.Зенков, 1935; В.М.Крейтер, 1937 и др.).

Нормальный закон является частным случаем широкого класса экспоненциальных законов, описывающих симметричные распределения [3].

Аналитическая модель экспоненциального закона имеет вид:

$$p(x) = A(s) \exp(-|x|^s),$$

где  $p(x)$  – плотность распределения показателя  $x$ ;  $A(s)$  – нормирующий множитель распределения, зависящий от его показателя степени  $s$ ;  $s$  – показатель степени, определяющий все параметры формы рас-



## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

пределения.

При  $s=1$  имеем распределение Лапласа, при  $s=2$  - распределение Гаусса (нормальный закон), при  $s=\infty$  распределение становится равномерным. Вообще, параметр  $s$  может принимать любые, в том числе дробные, значения.

Нормированная плотность распределения нормального закона имеет аналитический вид:

$$p(x) = (1:\sqrt{2\pi}) e^{-\frac{x^2}{2}},$$

где  $\pi=3,1416$ ;  $e=2,7183$ .

В 30-х годах 20 века обнаружилось несоответствие расчетных оценок, полученных на основе нормального закона, с фактическими данными. Вследствие этого появились три точки зрения на возможность применения методов математической статистики. Первая – полное отрицание их применения (Иванов С.И., Соловьев В.Г.). Вторая – применение их во всех случаях, при любых условиях (Рыжов П.А., Крейтер В.М.). Третья точка зрения заключалась в том, что классические формулы вариационной статистики можно использовать лишь в известных случаях.

Так, Шаманский Л.И. еще в 1936 г. считал, что при наличии закономерности изменения оруденения необходимо вычислять стандарт не по отклонениям от выборочного среднего, а по отклонениям индивидуальных значений показателя от частных средних, определяемых из уравнения регрессии или хотя бы на основе эмпирического сглаживания по линии или площади.

Позднее Смирнов А.В., Дунин-Барковский И.В., Романовский В.И. рекомендовали увеличивать число проб для получения согласующихся с практикой результатов, что нельзя признать удачным. Кузьмин В.Н. в 1957 году отмечал, что аппарат математической статистики применим для сложных и очень сложных по изменчивости показателей месторождений, мотивируя это отсутствием в них локальных закономерностей.

Наиболее правильной оказалась третья точка зрения – возможность применения методов математической статистики, но при оценке и учете закономерностей в распределении показателя.

В ходе дальнейших исследований выяснилось, что распределения показателей месторождений носят характер композиции случайной и закономерной составляющих и что вопрос о применимости аппарата математической статистики и теории вероятностей должен решаться на основе количественной оценки закономерной изменчивости и выделения случайной составляющей из общей дисперсии.

В связи с этим появились новые методы решения возникших вопросов. Был предложен метод последовательных разностей для оценки случайной колеблемости при наличии закономерного изменения показателя в теле полезного ископаемого (Казаковский Д.А., 1948 г.; Попов Е.И., Низгурецкий З.Д., Кузьмин В.И., Бастан П.П., за рубежом де-Вийс).

Величина среднего квадратического отклонения определяется по формуле:

$$P = \sqrt{(\sum \Delta m^2 : C_{2m}^m K)},$$

где  $\Delta m$  – значения последовательных разностей  $m$ -ного порядка;  $m$  – порядок разностей;  $C$  – число сочетаний из  $2m$  по  $m$ ;  $K$  – число последовательных разностей.

Бастан П.П. теоретически показал, что порядок разностей зависит от характера закономерности изменения показателя.

Осецкий А.И. предложил метод «красных чисел», что явилось вариантом разностных методов. Он определял среднее квадратическое отклонение по формуле:

$$P = \sqrt{(\sum K^2 : 4n)},$$

где  $K$  – красное число;  $n$  – количество красных чисел.

Богацкий В.В. в 1963 г. использовал для оценки изменчивости показатель неравномерности НП:

$$НП = P_{\max} : P_{\text{ср}},$$

где  $P_{\max}$  – максимальное значение показателя;  $P_{\text{ср}}$  – среднее значение показателя.

Величина предельной погрешности аналогии определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{пр}} = \pm 2(НП - 1) : (N - 1),$$

где  $N$  – объем выборки.

Стало понятно, что для резко асимметричных распределений показателей залежей нормальный закон неприемлем. Началось применение других законов распределений: логарифмически-нормального, Эрланга, биномиального, Вейбулла, гамма-распределения, Пирсона и т.д.

Все многообразие имеющихся в настоящее время методов оценки величины и точности параметров разведки, подсчета запасов, эксплуатации можно свести в две группы. В первую группу входят методы, применимые при существенно стационарном характере процесса распределения показателя в теле полезного ископаемого, когда закономерная составляющая в общей дисперсии имеет подчиненное значение ( $\eta_{\text{зак}}^2 < 0,5$ ). Сюда относятся использование нормального закона, преобразование асимметричных распределений, применение логарифмически-нормального закона, распределения Вейбулла.

Во вторую группу нужно отнести разностные методы, линейную и нелинейную корреляцию, структурный анализ и т.д. – то есть методы, применимые при существенно нестационарном характере процесса распределения показателей в поле залежи, когда превалирует закономерная составляющая в общей дисперсии ( $\eta_{\text{зак}}^2 > 0,5$ ).

Степень сложности поверхности, представляющей распределение изучаемого показателя, отражает долю его случайной колеблемости. Поскольку этот процесс стохастический, вероятность случайной колеблемости показателя определяется характером ее распределения; часто его можно аппроксимировать нормальным законом. При значительной доле закономерной составляющей применяемые разностные методы дают несколько завышенные оценки, причем, завышение возрастает с увеличением закономерности распределения. Причина завышения заключается

в теоретической сущности разностных методов, слабо чувствительных к влиянию закономерности в распределении показателей [4].

Неучет закономерной составляющей при преобладающем значении ее в распределении показателя ведет к необъективной оценке всех расчетных параметров разведки, подсчета запасов и эксплуатации. В таких случаях необходимо исключать закономерную изменчивость указанными методами, решая вопросы геометризации на основе только случайной колеблемости.

При изучении месторождений необходимо исходить из того очевидного положения, что месторождения полезных ископаемых являются частью горного массива и, следовательно, генетические и морфологические параметры и характеристики месторождения отражают таковые горного массива. Даже принимая во внимание, что месторождение формируется в готовой среде (в недрах или на земной поверхности), оно взаимодействует с прилегающими частями горного массива, приобретая определенные общие или близкие с ним свойства. То есть, имеет место геологическая и геомеханическая система «месторождение – массив».

В процессе возникновения месторождения полезного ископаемого основные действующие факторы в конкретных точках месторождения оказывают случайное воздействие, вследствие чего в объеме месторождения показатели распределяются достаточно неравномерно. Ярким примером этого являются месторождения золота, а также значительная часть рудных месторождений жильного и штокеркового типов. Но известно, что случайность есть форма проявления закономерности.

При этом закономерность, как правило, не бывает абсолютной. Ее степень, или мера, изменяется от минимума, когда она в практическом смысле отсутствует, до максимума, когда она практически полностью доминирует в распределении показателя, однозначно его определяя. Фактические распределения показателей месторождений обычно располагаются внутри этих предельных границ.

Таким образом, мы имеем дело со случайными величинами и случайными процессами. Поскольку значения реализаций случайного процесса зависят от положения точек их определения, случайный процесс можно рассматривать как случайную функцию значений от их положения на заданном линейном интервале или на заданном фрагменте пространства [1].

Допустим, замерена мощность угольного пласта по стенке штрека через 5 м на интервале 50 м (рис.1).

Из рисунка видно, что здесь отсутствует тренд, амплитуда колебаний значений мощности одинакова, все значения мощности располагаются около среднего значения ее. Это ярко выраженный, существенно стационарный процесс.

Но нередко при исследовании выявляются те или иные, более или менее закономерные, особенности поведения изучаемого показателя. В таких случаях нужно ставить вопрос о характере процесса. На-

пример, план изомощности пласта показывает тенденцию к устойчивому изменению мощности. Здесь ответ зависит от соотношения размеров изучаемого участка пласта и заданной детальности изучения поведения показателя (мощности), от амплитуды и длины волны закономерных изменений показателя по данному направлению, от степени выраженности закономерности.

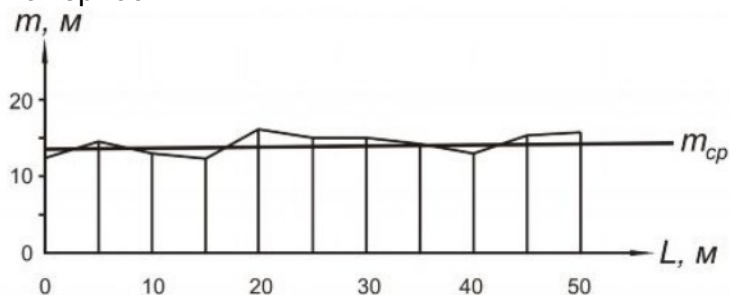


Рис.1. График распределения значений мощности угольного пласта по штреку

В таких случаях нужно выполнять районирование, или блокировку по площади или по направлению и выявлять участки, в пределах которых процесс можно считать существенно нестационарным, с большой степенью закономерности в изменении изучаемого показателя. При этом более крупная часть месторождения или месторождение в целом может представлять стационарный процесс. Примером может служить распределение значений содержания золота вдоль россыпи, снятых с плана изосодержаний (рис.2).

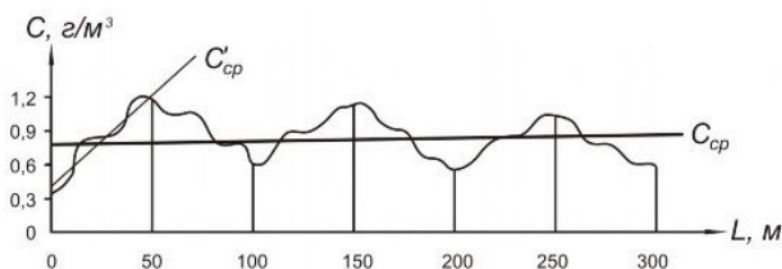


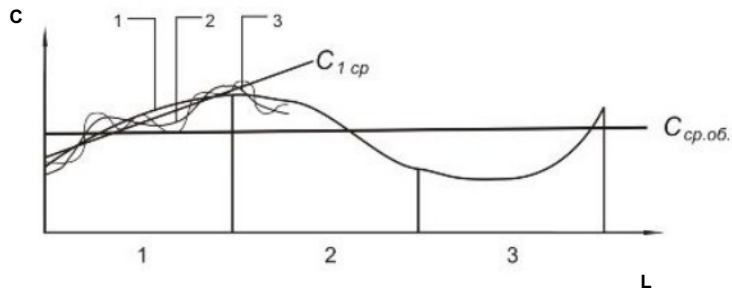
Рис.2. График распределения значений содержания золота вдоль россыпи

На рис.2 на всех 50-метровых интервалах процесс изменения содержания нестационарный; так, на интервале 0-50 м форма нестационарного процесса представлена прямой  $C'_{ср}$ , на которой лежат частные средние значения содержания в пределах интервала 0-50 м. Но на более крупном участке 0-300 м его можно считать стационарным, так как тренд отсутствует, среднее значение содержания остается постоянным, колебания значений показателя симметричны относительно среднего.

Здесь речь идет о порядке закономерности. На рис.3 показаны разные порядки закономерности в изменении показателя ( $C$ ) в пределах трех интервалов длины ( $L$ ). Если рассматривать весь участок (все три интервала) как одно целое, то процесс оказывается стационарным с общим средним  $C_{ср.об}$ . При рассмотрении отдельных интервалов картина меняется. Так, в интервале 1 имеет место закономерность первого порядка, которая может быть выражена наклонной прямой  $C_{1ср}$  или параболой (жирная линия 1). На эту главную закономерность накладывается закономер-

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

ность второго порядка, показанная волнистой линией 2. На эту закономерность накладывается закономерность третьего порядка, представленная извилистой линией 3. Более мелкую (детальную) закономерность выявлять нецелесообразно.

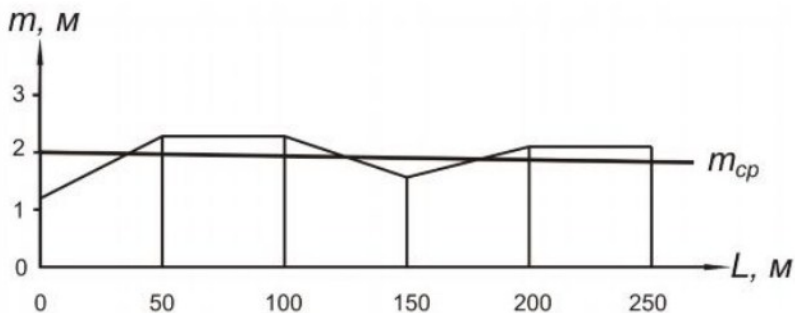


**Рис.3. Разные порядки закономерности в изменении показателя**

Мы видим, что разные порядки закономерности графически выражаются в виде кривых – гармоник – с различными длинами волн и их амплитудами, которые при исследовании распределений показателей месторождений не зависят от длины исследуемого ряда, а зависят от особенностей природного размещения показателей, возникающих при образовании месторождения и при дальнейшем его преобразовании (выветривание, метаморфизм и т.д.).

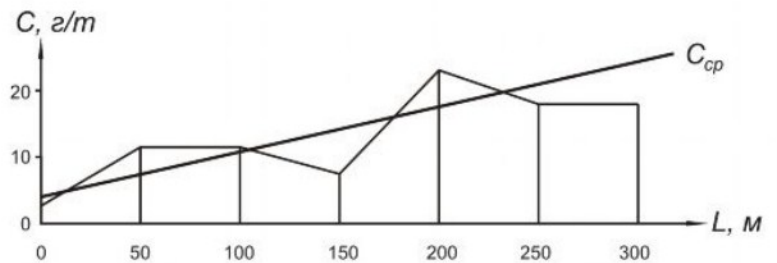
Для получения гармоник и оценки тренда применяются известные методы – гармонический (спектральный) анализ, сглаживание окнами и полиномиальными кривыми того или иного порядка, сплайн-кривыми и т.д.

Во многих случаях интервалы стационарности и нестационарности могут чередоваться в пределах одного общего стационарного или нестационарного процесса. На рис.4 при общем стационарном процессе на интервалах 0-50, 100-150 и 150-200 м имеют место локальные нестационарные процессы, а на интервалах 50-100 и 200-250 м – локальные стационарные процессы.



**Рис.4. Чередование локальных стационарных и нестационарных процессов на общем стационарном процессе**

На рис.5 при общем нестационарном процессе интервалы 50-100 и 250-300 м представлены локальными стационарными процессами, тогда как на остальных интервалах имеют место локальные нестационарные процессы.



**Рис.5. Чередование локальных стационарных и нестационарных процессов на общем нестационарном процессе**

Существенное значение при изучении распределений показателей месторождений имеет то обстоятельство, что разведочная сеть в общем случае накладывается произвольно и случайно по отношению к месторождению как по координатам, так и по направлению. В результате этого расположение и направление разведочной сети часто не совпадают с гребнями и впадинами значений показателя и с главными направлениями его анизотропии. А это может привести к невоскрытию истинного характера процесса распределения показателя. Последствия те же, что и при неучете закономерности: неверные оценки параметров разведки и подсчета запасов, ошибочные выводы относительно основных параметров эксплуатации месторождения.

Поэтому учет анизотропии показателей имеет важное значение, а параметры и направление разведки необходимо увязывать с характером и параметрами процесса распределения показателя и с его анизотропией – пусть даже в ущерб экономической эффективности разведки, имея в виду меньшие затраты при эксплуатации месторождения.

### Литература

1. Крамер Г., Лидбеттер М. Стационарные случайные процессы. – М.: Мир, 1969. 398 с.
2. Боровков А.А. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1976. 352 с.
3. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. 248 с.
4. Аппроксимация поверхностей при геометризации месторождений //И.В.Францкий // Исследования по проблемам геодезии и картографии. – Иркутск, 1975. 190 с.

Леонид Семенович Сафонов, горный инженер-маркшейдер, к.т.н., доцент кафедры МДиГ; Анатолий Викторович Волохов, горный инженер-маркшейдер, к.т.н., доцент кафедры МДиГ (Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, тел.(3952) 40-51-02)



## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ГИС ГЕОМИКС НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Дана характеристика разработанного специалистами ВИОГЕМ горно-геологического интегрированного программного ГИС ГЕОМИКС, его функциональных возможностей состояния и перспектив внедрения в горной промышленности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** горное производство; автоматизация; информационные технологии; ГИС ГЕОМИКС; функциональный модуль; модель.

Одним из главных направлений научно-исследовательских и методических работ института ВИОГЕМ является разработка информационных технологий для горного производства. Развитие этого направления в последние годы интенсифицировано Постановлением Правительства Белгородской области по реализации Послания президента РФ Федеральному собранию. В соответствии с Постановлением в институте создан и функционирует Центр геоинформационных технологий горной промышленности Российской Федерации.

Основной концепцией при разработке программного комплекса ГИС ГЕОМИКС было принято, что в нынешних условиях залогом успешного развития данного направления является органичное сочетание традиционных натуральных и теоретических исследований с новейшими информационными технологиями и практическими запросами горных предприятий.

В качестве критериев такого подхода использованы: своевременность, полнота, достоверность и оперативность обработки информации, автоматизация процессов на базе многофункциональных геоинформационных систем (ГИС) в виде интегрированного программного пакета и связанного в локальную вычислительную сеть технологического комплекса АРМов. ВИОГЕМ является пионером в области разработки подобных отечественных систем, конкурен-

тоспособных зарубежным аналогам. Это направление развивается в институте с 1990 г. В настоящее время создана горно-геологическая информационная система ГИС ГЕОМИКС, которая защищена Свидетельствами РФ об официальной регистрации программ для ЭВМ и одобрена органами Ростехнадзора для использования на горных предприятиях России.

ГИС ГЕОМИКС состоит из четырех функциональных модулей: геологический, маркшейдерский, буровзрывной и планирование горных работ.

**Геологический модуль** обеспечивает формирование и ведение баз данных геологоразведочной и геолого-эксплуатационной информации (данных первичной документации скважин и горных выработок, результатов опробования полезного ископаемого, карт, геологических и подсчетных разрезов и планов, слоевых качественных планов и т.п.), моделирование месторождений (каркасное и блочное) (рис.1); подсчет запасов различными методами (вертикальных и горизонтальных сечений, геологических и эксплуатационных блоков, на основе геологических модели) в соответствии с требованиями ГКЗ МПР РФ; формирование горно-геологической части годовой производственной программы горного предприятия; оперативное планирование добычи полезного ископаемого, учет движения запасов и др.

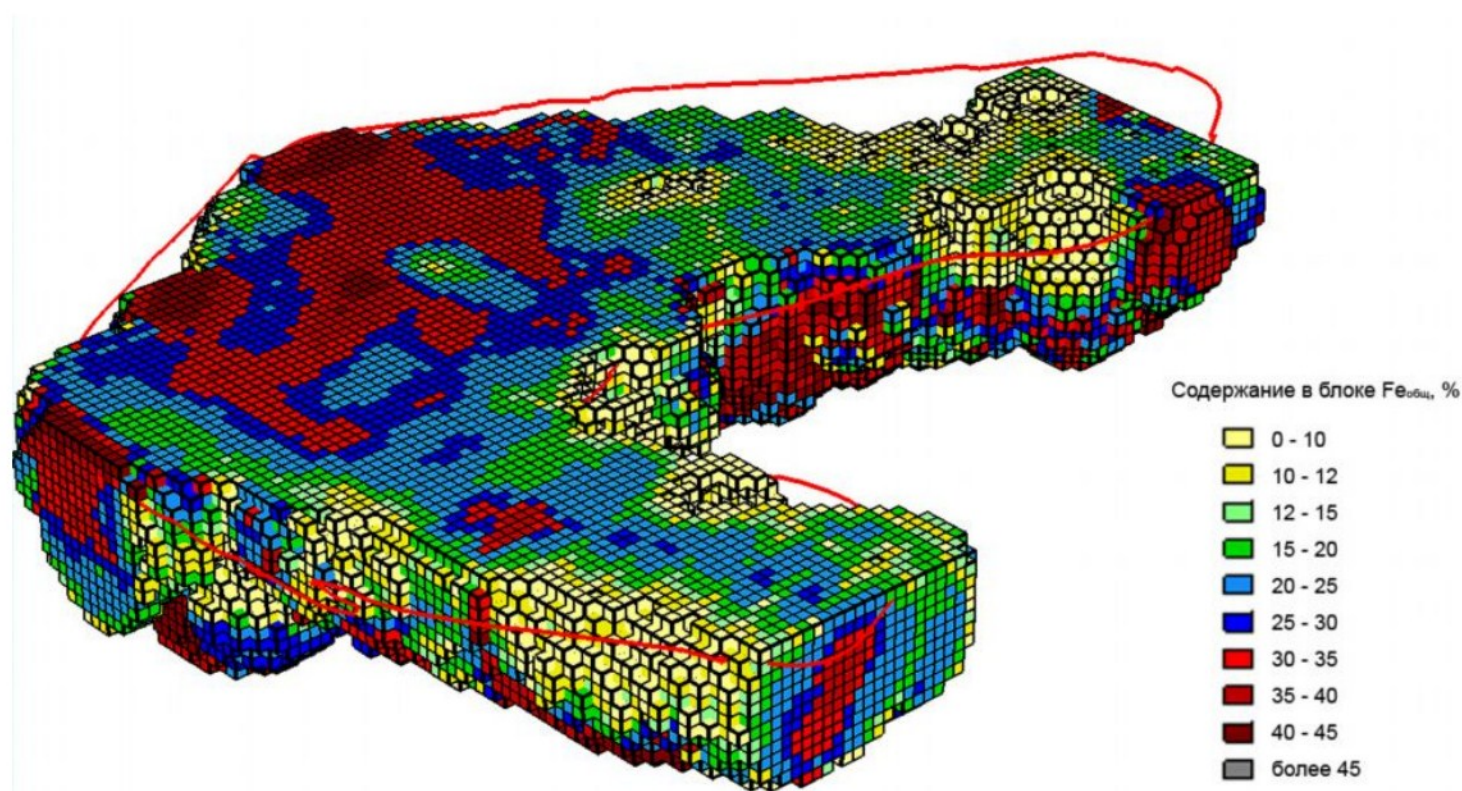


Рис.1. Блочная модель одного из железорудных месторождений КМА

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

**Маркшейдерский модуль** служит для решения комплекса маркшейдерских задач в том числе:

- автоматизированной обработки маркшейдерских журналов и данных стереографической съёмки карьера;
- формирование и редактирование базы данных пунктов опорного и съёмочного обоснования;
- ввод данных маркшейдерской съёмки из полевых журналов;
- решение маркшейдерских задач для условий открытых и подземных горных работ (прямой и обратной засечки, обратной геодезической задачи, обработка журналов тахеометрической съёмки, расчет высотной отметки, расчет и уравнивание тахеометрического и нивелирного ходов, ориентировку через 1, 2 ствола и др.);
- ведение погоризонтных маркшейдерских планов, сводного плана горных работ;
- моделирование поверхности карьера по состоянию на любую дату;
- подсчет объемов горной массы различными методами в карьере и на складах готовой продукции.

Важно отметить также, что маркшейдерский модуль системы ГИС ГЕОМИКС позволяет обновлять цифровые маркшейдерские планы как по данным тахеометрической съёмки, в том числе выполненной с помощью электронных тахеометров, так и по данным стереофотограмметрии. Такая универсальность модуля обусловлена программной реализацией следующих функций: 1) импорт данных из электронных тахеометров (Trimble, Sokkia, Nikon, Leica); 2) считывание и пересчет «приборных», т.е. полученных путём измерений на стереоавтографе, координат точек поверхности карьера в геодезические координаты с сохранением их в компьютере. Модификация модуля для условий подземной разработки обеспечивает ведение маркшейдерской модели рудника (шахты), в том числе проектирование горных выработок и обработку результатов исполнительной съёмки пройденных выработок с автоматическим построением фактического их положения на маркшейдерском плане.

**Буровзрывной модуль** предназначен для автоматизации проектирования буровзрывных работ в карьерах. Он обеспечивает формирование всего комплекта графических и табличных материалов, входящих в проект массового взрыва блока, автоматизированное разбиение плана взрывного блока на участки по категориям взрываемости и размещения на плане взрывных скважин, подготовку технического (предварительного) и корректировочного расчётов параметров взрывания, зарядных карт и схемы коммутационной сети. Внедрение этой технологии обеспечивает улучшение взрывной подготовки горной массы и стабилизацию качества руды, подаваемой на дробильно-обогащительный комплекс.

**Модуль планирования горных работ** предназначен для решения горно-геометрических задач при оперативном, текущем и перспективном планировании. В составе модуля реализованы технологии расчета активных фронтов горных работ, расчет запасов по степени подготовленности к выемке, расчет грузоперевозок, горного проектирования фрагментов

уступов и бортов карьеров, в том числе съездов и перегрузок. В сочетании с блочными геологическими моделями разработанные технологии позволяют реализовывать многовариантные расчеты развития горных работ, оперативно выполнять анализ горно-геологической ситуации в карьере (шахте) и принимать оптимальные технологические решения и плановые показатели при составлении годовой производственной программы и определении стратегии развития

ГИС ГЕОМИКС успешно эксплуатируется на крупнейших ГОКах России (Ковдорском, Лебединском, Стойленском) и Казахстана (Донском), на горных предприятиях по разработке месторождений неметаллического минерального сырья (ОАО «Доломит», предприятиях холдинга «Евроцемент» и др.) и угля (разрез «Богатырь» в Экибастузском угольном бассейне Казахстана). Всего в горной промышленности применяются более 900 инсталляций ГИС ГЕОМИКС. Система используется в учебном процессе подготовки горных инженеров в Московском государственном горном университете, Российском университете дружбы народов, Белорусском госуниверситете, Белгородском государственном университете, Башкирском университете, а также в ряде технических учебных заведений.

Наряду с постоянным совершенствованием ГИС ГЕОМИКС в формате использования достижений информационных технологий по автоматизации геолого-маркшейдерского обеспечения горного производства в институте ведется разработка на базе этой системы перспективных специализированных компьютерных технологий. В частности, создана уникальная программа для *математической компьютерной модели развала взорванной горной массы*, позволяющая прогнозировать форму развала и распределение в нём компонентов, регламентирующих качество полезного ископаемого (рис.2).

Актуальность этой технологии определяется следующими обстоятельствами. В настоящее время и на обозримую перспективу основным способом разрушения скального массива при открытой разработке месторождений полезных ископаемых, в том числе рудных, является буровзрывной. Тело созданной взрывом горной массы по своей конфигурации и внутреннему строению существенно отличается от целика, при разрушении которого эта масса образовалась. Картина распределения ценных и вредных компонентов в обуренном массиве, установленная по данным опробования взрывных скважин, при развале горной массы под действием взрыва также изменяется, что необходимо учитывать при оперативном планировании добычи руд в карьере.

Апробация компьютерной технологии в условиях карьера Лебединского ГОКа на более чем 10 взрывных блоках показала, что полученная с её помощью модель в целом достаточно адекватно отражает реальную картину формирования развала взорванной горной массы и может быть внедрена в производство. Способ прогноза распределения содержания химических компонентов во взорванной горной массе, основанный на компьютерном моделировании её развала, защищен патентом РФ.

По заказу Донского ГОКа разработана *техноло-*



## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

гия формирования технико-экономической модели подземной разработки рудного тела (рис.3). Эта технология позволяет создавать базу данных сметно-стоимостных показателей различных видов подзем-

ных горных работ, оценивать объемы планируемых горных работ в натуральном и стоимостном выражении, представлять их на горно-геологической графике, вести отчетную технико-экономическую документацию.



Рис.2. Распределение полезного компонента ( $Fe_{общ}$ ) в буровзрывном блоке

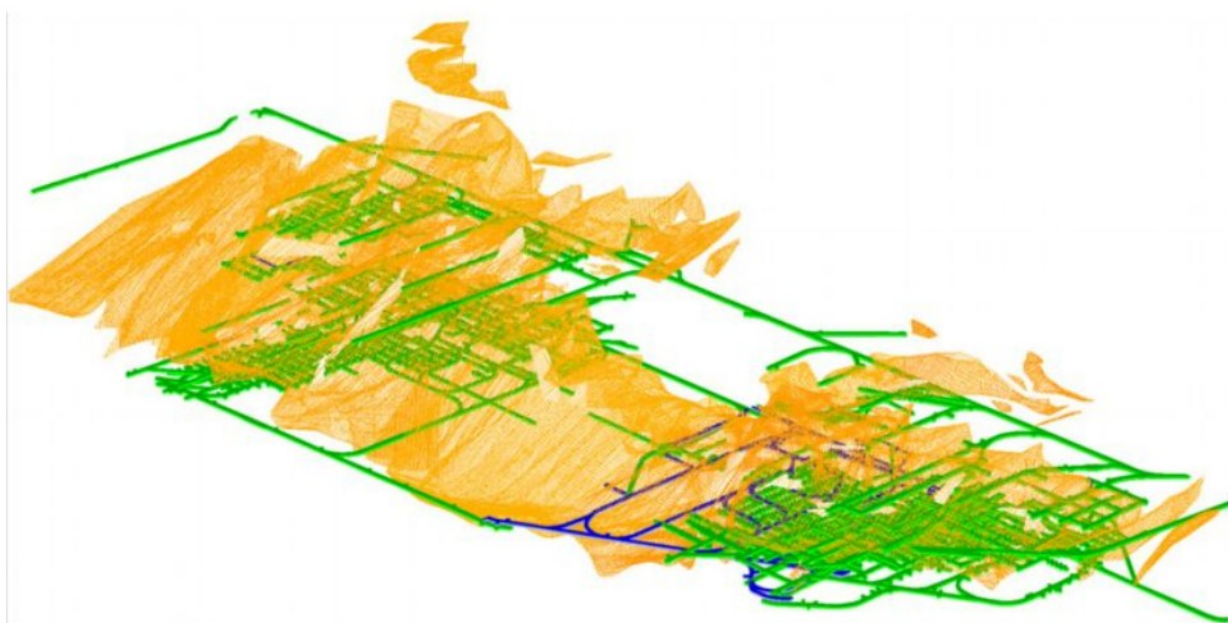


Рис.3. Каркасная модель и расположение горных выработок в ПО ГЕОМИКС

В настоящее время ведутся разработки по совершенствованию системных функций ГИС ГЕОМИКС таких как интеграция технологий ГЛОНАСС и GPS, расширения клиент-серверных функций, алгоритмизация сложных расчетов на основе применения параллельных вычислений и усиление функциональности 3D интерактивной графики.

В целом ГИС ГЕОМИКС позволяет моделировать месторождения и производить подсчет запасов полезных ископаемых. Практика внедрения ГИС ГЕОМИКС показала, что наиболее успешно оно идет в том случае, когда первичная горно-геологическая модель эксплуатируемого месторождения создается специалистами ВИОГЕМ, а после обучения инженерно-технического персонала ГИС ГЕОМИКС используется специалистами геолого-маркшейдерской службы предприятия самостоятельно. По такой методике ГИС ГЕОМИКС внедрена на Ковдорском, Лебединском, Стойленском, Яковлевском и других рудниках. Без геологической цифровой модели месторождения немыс-

лимо в настоящее время оптимальное проектирование его разработки. ВИОГЕМ успешно решает весьма трудную и требующую серьезного программистского сопровождения задачу подсчета запасов минерального сырья, в том числе по эксплуатационным слоям (этажам). Необходимость в этом возникает при подготовке проекта разработки месторождения, реконструкции рудника, технико-экономического обоснования кондиций на минеральное сырьё. В частности, подсчет запасов Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения осуществлён в связи с проектированием его открытой разработки, а одноимённого апатит-магнетитового месторождения – для подготовки проекта реконструкции карьера рудника «Железный».

ГИС ГЕОМИКС успешно использовано в составе разработанного ВИОГЕМ и прошедшего экспертизу ГКЗ МПР РФ технико-экономического обоснования эксплуатационных кондиций для переоценки запасов Стойленского месторождения Курской магнитной аномалии.

*Юрий Иванович Волков, к.т.н., Ген. директор; Сергей Степанович Серый, к.т.н., зам.Ген. директора по научной работе; Андрей Владимирович Герасимов, к.т.н.зав.лабораторией ГИС (ОАО «ВИОГЕМ», тел.(4722)26-05-23)*



## АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ АЛМАЗНАЯ ОАО «ГУКОВУГОЛЬ»

Установлено, что при формировании мульды сдвижения возникают деформации, которые больше деформаций на конечную дату процесса сдвижения. Предложено учитывать такие деформации посредством коэффициента, включающего единицы опасных деформаций.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** процесс сдвижения; мульда; деформация; расчетные методы; коэффициент единиц опасных деформаций.

Принято считать, что на конечную дату процесса сдвижения деформации земной поверхности принимают наибольшие значения. Эти деформации в дальнейшем используются при создании расчетных методов.

Выполним анализ наклонов и кривизны земной поверхности от влияния лавы №109 шахты Алмазная ОАО «Гуковуголь» в течение всего периода сдвижения земной поверхности (станция Советская-3) [1]. Принятая система разработки лавы №109 – длинные столбы по простиранию с отработкой обратным ходом. Средняя глубина горных работ 998 м, мощность наносов 0-5 м, вынимаемая мощность 1,8 м, угол падения пласта 8-9°, размер очистной выработки по падению 203 м, по простиранию – 1420 м. Толща горных пород была ранее подработана вышележащими пластами. Длительность процесса сдвижения 559 дней.

Для установления степени повышения деформаций введем коэффициент единиц опасных деформаций  $ЕОД$ , который вычисляется по формуле:

$$ЕОД = \frac{|D_{max} - D_{кон}|}{D_{оп}}$$

где  $D_{max}$  – максимальное (положительное или отрицательное) значение деформации в течение всего периода формирования мульды;  $D_{кон}$  – величина деформации (положительная или отрицательная) на конечную дату процесса сдвижения;  $D_{оп}$  – опасное для сооружений значение деформации.

Определим  $ЕОД$  для наклонов:

$$ЕОД_i = \frac{|i_{max} - i_{кон}|}{i_{оп}}$$

где  $i_{max}$  – максимальное (положительное или отрицательное) значение наклонов;  $i_{кон}$  – величина наклона

(положительная или отрицательная) на конечную дату процесса сдвижения;  $i_{оп}$  – опасное для сооружений значение наклонов ( $i_{оп}=4 \cdot 10^{-3}$ ) [2].

Найдем количество  $ЕОД_i$  для интервала Rp72–Rp73 профильной линии наблюдательной станции. На рис.1 показано, что наибольший наклон в процессе формирования мульды составляет  $3,61 \cdot 10^{-3}$ , а наклон на конечную дату сдвижения –  $2,13 \cdot 10^{-3}$ . Количество  $ЕОД_i$  будет равно 0,37. Это указывает на то, что наклон на конечную дату меньше наклона, возникшего при формировании мульды сдвижения.

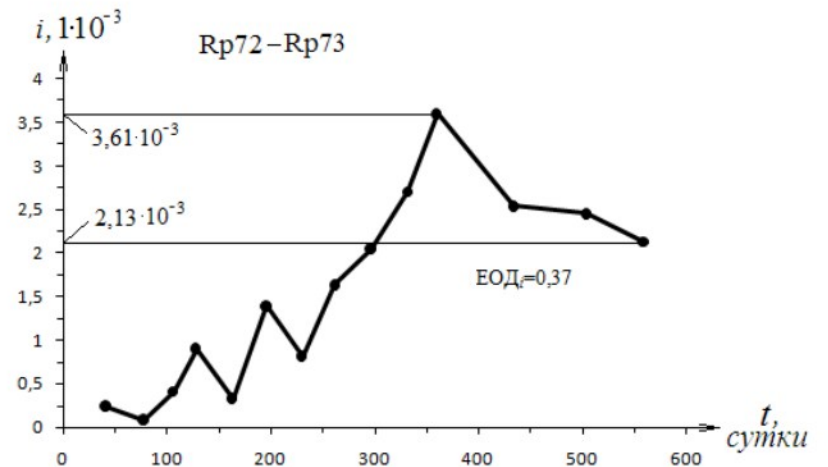


Рис. 1. Наклоны интервала Rp72–Rp73 при формировании мульды сдвижения

Факт снижения деформаций наблюдается и на других реперах. В табл. 1 приводится расчет коэффициентов  $ЕОД_i$  на всех реперах профильной линии.

Данные табл.1 представлены графически на рис.2.

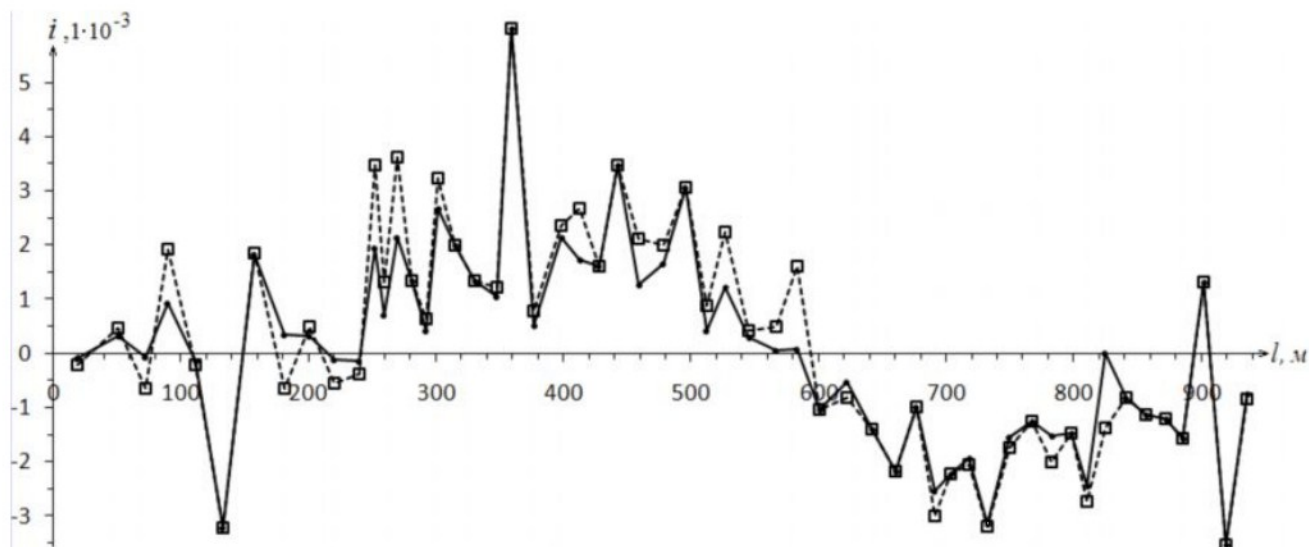


Рис. 2. Распределение по профилю линии наибольших наклонов в течение процесса сдвижения (.....□.....) и наклонов на последнюю дату наблюдений (—●—)

Единицы опасных наклонов на реперах профильной линии

| № репера | $i_{max}, 1 \cdot 10^{-3}$ | $i_{кон}, 1 \cdot 10^{-3}$ | $R = i_{max} - i_{кон}, 1 \cdot 10^{-3}$ | $ЕОД_i$ | № репера | $i_{max}, 1 \cdot 10^{-3}$ | $i_{кон}, 1 \cdot 10^{-3}$ | $R = i_{max} - i_{кон}, 1 \cdot 10^{-3}$ | $ЕОД_i$ |
|----------|----------------------------|----------------------------|--|---------|----------|----------------------------|----------------------------|--|---------|
| IX       | -0,22                      | -0,08                      | -0,14                                    | 0,03    | 1        | 3,07                       | 3,07                       | 0,00                                     | 0,00    |
| VIII     | 0,47                       | 0,33                       | 0,14                                     | 0,04    | 2        | 0,88                       | 0,41                       | 0,47                                     | 0,12    |
| VII      | -0,65                      | -0,07                      | -0,58                                    | 0,14    | 3        | 2,23                       | 1,23                       | 1,00                                     | 0,25    |
| 84       | 1,92                       | 0,93                       | 0,99                                     | 0,25    | 4        | 0,42                       | 0,29                       | 0,13                                     | 0,03    |
| 83       | -0,22                      | -0,13                      | -0,09                                    | 0,02    | 5        | 0,5                        | 0,06                       | 0,44                                     | 0,11    |
| 82       | -3,23                      | -3,23                      | 0,00                                     | 0,00    | 6        | 1,6                        | 0,07                       | 1,53                                     | 0,38    |
| 81       | 1,84                       | 1,84                       | 0,00                                     | 0,00    | 7        | -1,05                      | -1,05                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 80       | -0,64                      | 0,35                       | -0,99                                    | 0,25    | 8        | -0,81                      | -0,52                      | -0,29                                    | 0,07    |
| 79       | 0,5                        | 0,32                       | 0,18                                     | 0,04    | 9        | -1,4                       | -1,40                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 78       | -0,56                      | -0,11                      | -0,45                                    | 0,11    | 10       | -2,19                      | -2,19                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 77       | -0,38                      | -0,14                      | -0,24                                    | 0,06    | 11       | -1                         | -1,00                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 76       | 3,48                       | 1,96                       | 1,52                                     | 0,38    | 12       | -3                         | -2,54                      | -0,46                                    | 0,12    |
| 75       | 1,31                       | 0,71                       | 0,60                                     | 0,15    | 13       | -2,23                      | -2,23                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 73       | 3,61                       | 2,13                       | 1,48                                     | 0,37    | 14       | -2,07                      | -1,93                      | -0,14                                    | 0,03    |
| 72       | 1,33                       | 1,33                       | 0,00                                     | 0,00    | 15       | -3,21                      | -3,14                      | -0,07                                    | 0,02    |
| 69       | 0,63                       | 0,42                       | 0,21                                     | 0,05    | 16       | -1,75                      | -1,55                      | -0,20                                    | 0,05    |
| IV       | 3,24                       | 2,67                       | 0,57                                     | 0,14    | 17       | -1,25                      | -1,25                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 68       | 2                          | 2,00                       | 0,00                                     | 0,00    | 18       | -2                         | -1,53                      | -0,47                                    | 0,12    |
| I        | 1,33                       | 1,33                       | 0,00                                     | 0,00    | 19       | -1,47                      | -1,47                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 67       | 1,22                       | 1,06                       | 0,16                                     | 0,04    | 20       | -2,73                      | -2,45                      | -0,28                                    | 0,07    |
| 66       | 6                          | 6,00                       | 0,00                                     | 0,00    | 21       | -1,37                      | 0,00                       | -1,37                                    | 0,34    |
| 65       | 0,79                       | 0,52                       | 0,27                                     | 0,07    | 22       | -0,82                      | -0,82                      | 0,00                                     | 0,00    |
| II       | 2,36                       | 2,14                       | 0,22                                     | 0,05    | 23       | -1,13                      | -1,13                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 64       | 2,67                       | 1,73                       | 0,94                                     | 0,23    | 24       | -1,2                       | -1,20                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 63       | 1,6                        | 1,60                       | 0,00                                     | 0,00    | 25       | -1,58                      | -1,58                      | 0,00                                     | 0,00    |
| III      | 3,47                       | 3,47                       | 0,00                                     | 0,00    | 26       | 1,32                       | 1,32                       | 0,00                                     | 0,00    |
| 62       | 2,11                       | 1,28                       | 0,83                                     | 0,21    | 27       | -3,54                      | -3,54                      | 0,00                                     | 0,00    |
| 61       | 2                          | 1,65                       | 0,35                                     | 0,09    | 28       | -0,84                      | -0,74                      | -0,10                                    | 0,03    |

На рис.1 видно, что наряду с совпадающими наклонными в процессе формирования мульды и на конечную дату наблюдений существуют точки с несопадающими наклонами.

На рис.3 видно, что репер 73 характеризуется максимальной кривизной  $+4,5 \cdot 10^{-4} 1/м$  на 360 день процесса сдвижения, а на конечную дату – кривизной  $+1,38 \cdot 10^{-4} 1/м$ .

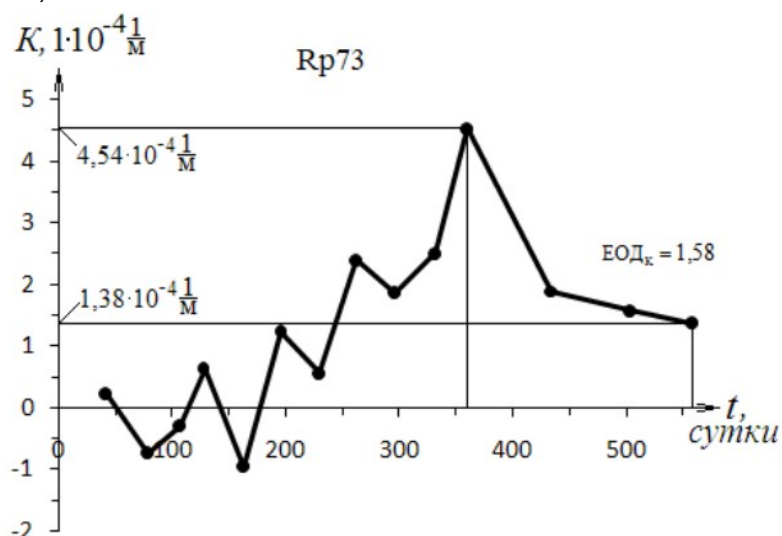


Рис.3. Кривизна на репере №73 при формировании мульды сдвижения

Определим степень повышения кривизны при помощи коэффициента  $ЕОД_K$ :

$$ЕОД_K = \frac{|K_{max} - K_{кон}|}{K_{оп}}$$

где  $K_{max}$  – максимальное (положительное или отрицательное) значение кривизны;  $K_{кон}$  – величина кривизны (положительная или отрицательная) на конечную дату процесса сдвижения;  $K_{оп}$  – опасное для сооружений значение кривизны ( $K_{оп} = 2 \cdot 10^{-4} 1/м$ ) [2].

Для примера на рис.3  $ЕОД_K = 1,58$ . Это означает, что на конечную дату наблюдений кривизна меньше кривизны в процессе формирования мульды на  $1,58 \cdot 2 \cdot 10^{-4} 1/м = 3,16 \cdot 10^{-4} 1/м$ .

В табл.2 приводится расчет коэффициентов  $ЕОД_K$  на всех реперах профильной линии.

# ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

Таблица 2

Единицы опасной кривизны на реперах профильной линии

| № репера | $K_{max}, 1 \cdot 10^{-4} 1/м$ | $K_{кон}, 1 \cdot 10^{-4} 1/м$ | $R = K_{max} - K_{кон}, 1 \cdot 10^{-4} 1/м$ | ЕОД <sub>к</sub> | № репера | $K_{max}, 1 \cdot 10^{-4} 1/м$ | $K_{кон}, 1 \cdot 10^{-4} 1/м$ | $R = K_{max} - K_{кон}, 1 \cdot 10^{-4} 1/м$ | ЕОД <sub>к</sub> |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|--|------------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--|------------------|
| IX       |                                |                                |  |                  | 1        | 0,829                          | 0,810                          | 0,02   | 0,01             |
| VIII     | 0,212                          | 0,126                          | 0,09   | 0,04             | 2        | -1,659                         | -1,659                         | 0,00   | 0,00             |
| VII      | -0,473                         | -0,193                         | -0,28  | -0,14            | 3        | 1,517                          | 0,546                          | 0,97   | 0,49             |
| 84       | 1,13                           | 0,572                          | 0,56   | 0,28             | 4        | -1,341                         | -0,508                         | -0,83  | -0,42            |
| 83       | -0,956                         | -0,477                         | -0,48  | -0,24            | 5        | -0,231                         | -0,112                         | -0,12  | -0,06            |
| 82       | -1,453                         | -1,453                         | 0,00   | 0,00             | 6        | 0,869                          | 0,007                          | 0,86   | 0,43             |
| 81       | 2,073                          | 2,073                          | 0,00   | 0,00             | 7        | -0,836                         | -0,619                         | -0,22  | -0,11            |
| 80       | -0,639                         | -0,639                         | 0,00   | 0,00             | 8        | 0,272                          | 0,249                          | 0,02   | 0,01             |
| 79       | 0,21                           | -0,014                         | 0,22   | 0,11             | 9        | 0,633                          | -0,427                         | 1,06   | 0,53             |
| 78       | -0,515                         | -0,219                         | -0,30  | -0,15            | 10       | -0,59                          | -0,437                         | -0,15  | -0,08            |
| 77       | 0,194                          | -0,016                         | 0,21   | 0,10             | 11       | 0,742                          | 0,742                          | 0,00   | 0,00             |
| 76       | 3,015                          | 1,640                          | 1,37   | 0,69             | 12       | -1,595                         | -1,061                         | -0,53  | -0,27            |
| 75       | -6,633                         | -1,911                         | -4,72  | -2,36            | 13       | 0,888                          | 0,237                          | 0,65   | 0,33             |
| 73       | 4,542                          | 1,376                          | 3,17   | 1,58             | 14       | -0,74                          | 0,212                          | -0,95  | -0,48            |
| 72       | -2,016                         | -0,659                         | -1,36  | -0,68            | 15       | -0,837                         | -0,834                         | 0,00   | 0,00             |
| 69       | -0,971                         | -0,849                         | -0,12  | -0,06            | 16       | 0,95                           | 0,937                          | 0,01   | 0,01             |
| IV       | 2,817                          | 2,246                          | 0,57   | 0,29             | 17       | 0,431                          | 0,167                          | 0,26   | 0,13             |
| 68       | -1,357                         | -0,503                         | -0,85  | -0,43            | 18       | -0,887                         | -0,183                         | -0,70  | -0,35            |
| I        | 0,613                          | -0,430                         | 1,04   | 0,52             | 19       | 0,711                          | 0,044                          | 0,67   | 0,33             |
| 67       | 0,256                          | -0,168                         | 0,42   | 0,21             | 20       | -1,38                          | -0,760                         | -0,62  | -0,31            |
| 66       | 4,12                           | 4,120                          | 0,00   | 0,00             | 21       | 1,818                          | 1,818                          | 0,00   | 0,00             |
| 65       | -3,133                         | -3,133                         | 0,00   | 0,00             | 22       | 0,691                          | -0,499                         | 1,19   | 0,60             |
| II       | 0,792                          | 0,756                          | 0,04   | 0,02             | 23       | -0,882                         | -0,194                         | -0,69  | -0,34            |
| 64       | -0,608                         | -0,282                         | -0,33  | -0,16            | 24       | 0,622                          | -0,044                         | 0,67   | 0,33             |
| 63       | -0,978                         | -0,089                         | -0,89  | -0,44            | 25       | -1,259                         | -0,284                         | -0,98  | -0,49            |
| III      | 1,333                          | 1,244                          | 0,09   | 0,04             | 26       | 1,707                          | 1,707                          | 0,00   | 0,00             |
| 62       | -1,327                         | -1,327                         | 0,00   | 0,00             | 27       | -2,775                         | -2,775                         | 0,00   | 0,00             |
| 61       | -0,801                         | 0,196                          | -1,00  | -0,50            | 28       | 1,751                          | 1,751                          | 0,00   | 0,00             |

Данные табл. 2 иллюстрируются рис.4.

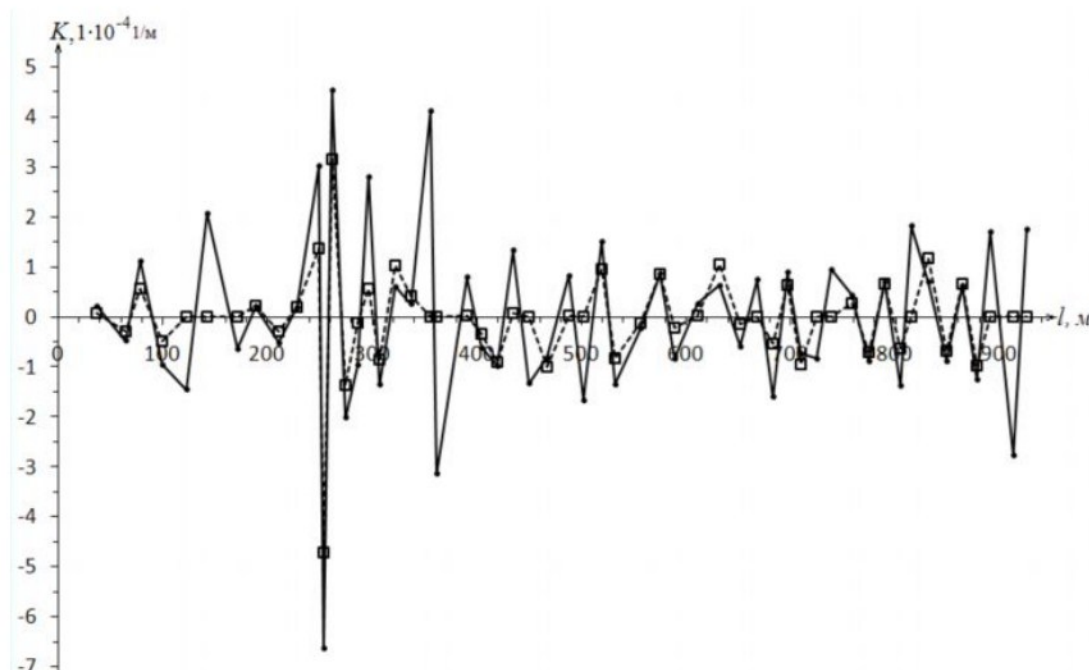


Рис. 4. Распределение по профильной линии наибольшей кривизны в течение процесса сдвижения (.....□.....) и кривизны на последнюю дату наблюдений (—●—)

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

На рис. 5 и 6 приводятся  $EOD_i$  и  $EOD_k$  по всем реперам профильной линии.

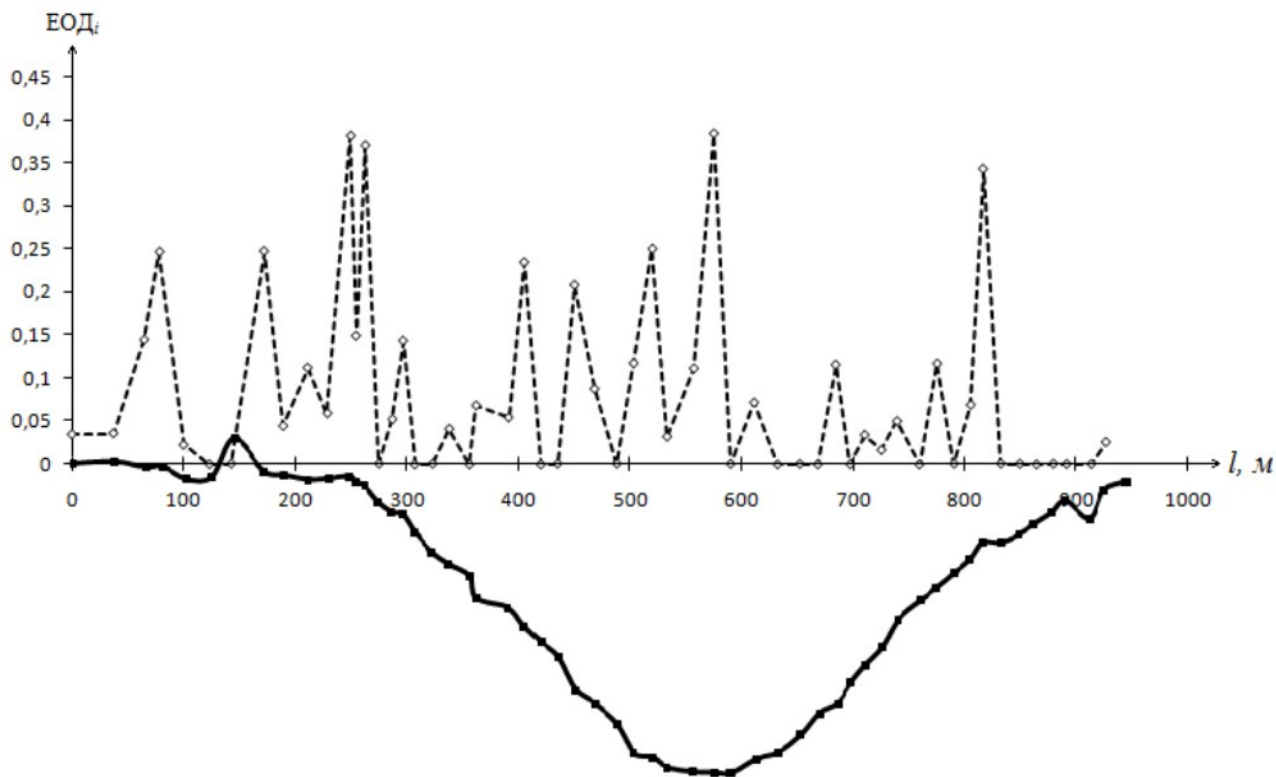


Рис. 5. Распределение по профильной линии  $EOD_i$

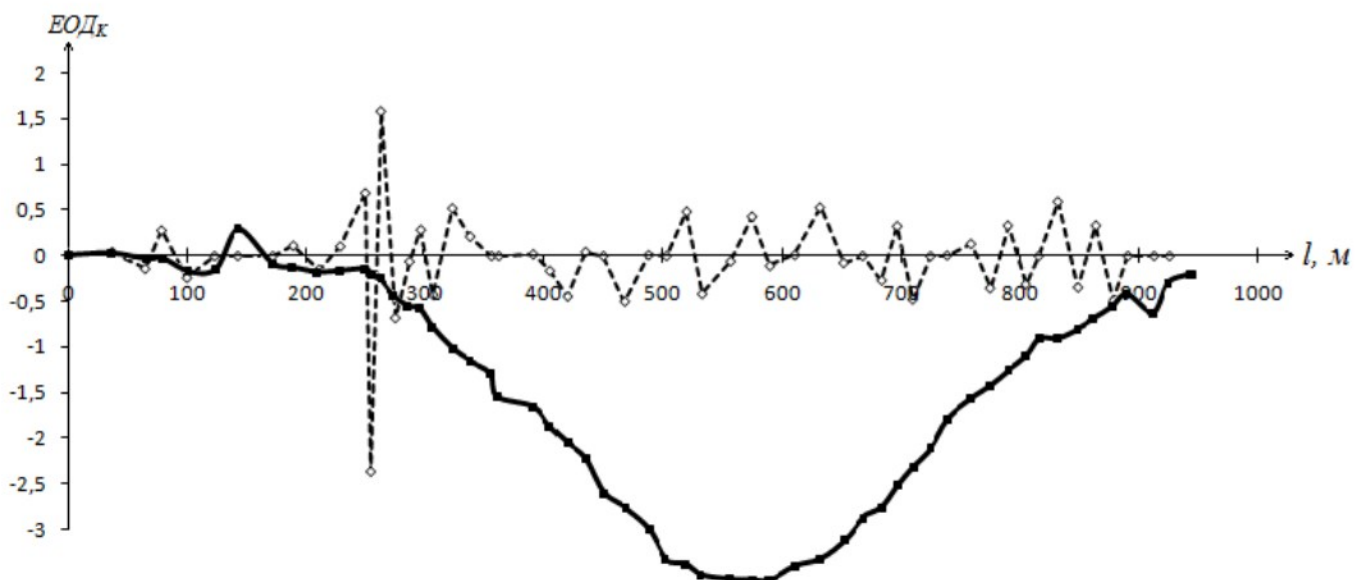


Рис. 6. Распределение по профильной линии  $EOD_k$

Анализ рис. 5 и 6 показывает, что максимальные величины  $EOD$  расположены в местах наибольших величин наклонов и кривизны. Это выпуклые и вогнутые части кривой оседаний.

На основании вышеизложенного можно заключить, что необходим учет увеличения деформаций в процессе формирования мульды путем введения в существующие коэффициенты запаса поправок на величины  $EOD$ .

### Литература

1. Отчет по наблюдениям за сдвижением земной поверхности в х. Гуково на наблюдательной станции «Советская-3» от влияния горных разработок лавы №109 пл. № шх. «Алмазная». – г. Гуково 2005 г.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – СПб., 1998. – 291 с.

Юрий Васильевич Посыльный, д.т.н., профессор;  
Александр Андреевич Алмазов, аспирант  
тел. (8635)25-53-56 (Южно-Российский государственный  
технический университет (НПИ))



О.Г.Бесимбаева, Е.А.Панасенко, Н.Г.Бесимбаев

## ОБОСНОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ЦИКЛОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

Выполнен анализ результатов систематических наблюдений за состоянием ограждающей дамбы золоотвала, выявлен характер деформаций сооружения, величина и скорость изменения процесса сдвижения. На основе анализа установлена периодичность циклов инструментальных наблюдений и даны рекомендации по выполнению технических мероприятий для стабилизации процесса сдвижения и повышения эксплуатационной прочности сооружения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** золоотвал; ограждающая дамба; процесс сдвижения; деформации; инструментальные наблюдения; периодичность.



О.Г.Бесимбаева    Е.А.Панасенко    Н.Г.Бесимбаев

При разработке методики наблюдений за осадками сооружений первостепенное внимание должно уделяться обоснованию точности и периодичности измерений. Указанные вопросы связаны с принятой схемой измерений и методом обработки результатов измерений, а также моделью прогнозирования деформаций и зависят от исходных показателей, изменяемых при расчете [1].

Анализируя результаты наблюдений, исследования деформаций откосов ограждающей дамбы №1 золоотвала Топарской ГРЭС, можно сделать вывод, что деформирование тела дамбы происходило с различной интенсивностью и выделить в этом процессе три стадии деформирования.

*Первая стадия* - интенсивные деформации в период с декабря 2000 г. до середины февраля месяца 2001 г. Интенсивность сдвижения за неделю в этот период в вертикальной плоскости по продольной линии составляла от 27 мм до 56 мм, по поперечной линии III-III составляла от 56 мм до 75 мм.

Результаты инструментальных наблюдений говорят о формировании в теле дамбы оползневой призмы [2], которая привела к образованию системы продольных и ряда диагональных трещин (отрыва) в теле дамбы. Характер процесса деформирования показывает, что первоначально появились деформации верхней части дамбы, которые в свою очередь повлияли на возникновение деформаций в нижней ее части, в том числе к значительному увеличению смещения реперов в горизонтальной плоскости.

Интенсивность горизонтальных сдвижений реперов по продольной линии в неделю составила от 19 до 45 мм, интенсивность горизонтальных деформаций по поперечной линии II-II в неделю составила от 20 до 102 мм. Наблюдения показали, что максимальные деформации по поперечнику II-II составили (-) 558 мм между реперами 315-K15. В этот период формирования оползневой призмы можно выделить

по продольной линии зону интенсивного сдвижения длиной около 450 м от 13 до 26 репера. Поперечные трещины отрыва были расположены по линии между 12 - 13 реперами и 25-26 реперами.

Анализ грунтов основания дамбы по результатам изысканий прошлых лет показывает, что между этими реперами (13 и 25) наблюдательной станции находится наибольшая мощность рыхлых отложений, представленных суглинками пылеватыми коричневатобурными, песками разнородными и пылеватой коричневатобурой глиной.

Максимальная интенсивность вертикального сдвижения реперов верхней части дамбы составляет 56 мм в неделю, тогда как реперов нижней части – 6 мм в неделю.

На основе проведенных исследований деформаций откосов ограждающей дамбы №1 золоотвала Топарской ГРЭС были даны рекомендации по реконструкции тела дамбы и возведению упорной призмы в нижней ее части, которые позволили стабилизировать процесс сдвижения и повысить эксплуатационную прочность сооружения.

*Вторая стадия* - стадия стабилизации деформации, когда происходит затухание и стабилизация процесса сдвижения в теле дамбы.

С середины февраля до середины апреля происходит процесс затухания интенсивности сдвижения, который связан с активным строительством упорной призмы в нижней части дамбы, и с апреля по июнь – стабилизация деформаций. Скорость сдвижения за неделю в вертикальной плоскости составляет от 10 мм до 5-6 мм, в горизонтальной - от 14 до 5 мм.

В этот период стабилизации деформаций, согласно плану эксплуатации золоотвала, производится прокладка золопровода по гребню дамбы №1 на отметке 571 м, а также реконструкция и восстановление наблюдательной станции для дальнейшего наблюдения за состоянием дамбы.

Результаты трех серий наблюдений по восстановленной станции показывают, что деформации в вертикальной плоскости на оползнеопасном участке по продольной линии А-А на гребне с отметкой 571 м достигли 139 мм, по линии В-В на берме с отметкой 568 м - 76 мм, тогда как горизонтальные смещения незначительны. Это говорит о том, что в верхней части дамбы происходит процесс усадки отсыпного грунта.

В период с июня по август 2001 г. выделяется *третья стадия* – стадия активизации оползневого

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

процесса. Интенсивность оседаний в этот период составляет 7-10 мм в неделю.

На основе выполненных серий инструментальных наблюдений в период с 02.12.00 по 11.08.01 гг. по реперам, заложенным в теле дамбы, установлены следующие величины сдвига отдельных ее участков относительно первоначальной серии.

В вертикальной плоскости получены следующие результаты наблюдений. По продольной линии можно выделить зону интенсивного сдвига от репера 13 до репера 26. Величина смещения здесь составила от 125 до 462 мм, т.е. идет просадка данного блока.

Наблюдения по поперечным линиям показали, что значительные смещения происходят по второй, третьей и четвертой линиям. Величина сдвига реперов поперечных линий наблюдательных станций колеблется от 25 мм до 486–625 мм.

Получены следующие результаты наблюдений в горизонтальной плоскости. По продольной линии можно выделить зоны с максимальными величинами горизонтальных деформаций: от репера 12 до 15 и от репера 20 до 26 репера.

Величина горизонтальных сдвигов реперов по изменению суммарной длины интервалов по продольной линии с 1 по 19 репер составляет 165 мм, с 19 по 32 репер – 31 мм. Максимально изменился интервал между 12-13 реперами продольной линии в сторону растяжения, горизонтальные деформации составили 128 мм; горизонтальные деформации интервала между 25-26 реперами в сторону растяжения составили 95 мм.

Длины интервалов изменялись неоднозначно, т.е. часть интервалов в сторону растяжения, часть - в сторону сжатия. Следует отметить значительное изменение положения репера А15 по линии II-II в связи с образованием продольной трещины по гребню с отметкой 571 м между линиями II-II и III-III.

Максимальная величина горизонтальных сдвигов реперов по суммарной длине интервалов по поперечным линиям относительно их начального положения приведена в табл.1.

Таблица 1

### Максимальная величина горизонтальных сдвигов реперов по суммарной длине интервала в неделю

| Номер линии     | Поперечные профильные линии |          |           |          |         |
|-----------------|-----------------------------|----------|-----------|----------|---------|
|                 | I линия                     | II линия | III линия | IV линия | V линия |
| Номер репера    | Rp A9                       | Rp 315   | Rp Ж19    | Rp 322   | Rp A27  |
| Величина сдвига | 135мм                       | 530мм    | 518мм     | 240мм    | 163мм   |

В итоге за период наблюдений за состоянием ограждающей дамбы №1 с 02.12.00 по 11.08.01 гг. можно выделить следующие этапы деформаций:

- интенсивные деформации (декабрь-февраль);
- стабилизация деформаций (март-май);
- активизация деформаций в связи с работой золопровода (июнь-август).

Анализ результатов горизонтальных деформаций по поперечным линиям показал, что реперы, находящиеся в зоне влияния оползневой призмы, сместились в сторону сжатия интервалов, а реперы крайних поперечных линий наблюдательной станции сместились в сторону растяжения.

Величина и направление вертикальных смещений реперов по продольной линии позволили сделать вывод о том, что образование трещин отрыва привело к деформированию оползневой призмы в зоне максимальной высоты насыпной дамбы на слабом основании.

В период интенсивного оседания оползневой призмы происходила разгрузка остальной части насыпной дамбы, что нашло свое отражение в незначительном движении вверх реперов этой части дамбы.

Проведенные маркшейдерские наблюдения за состоянием ограждающей дамбы показали, что требуется возобновить работы по формированию упорной призмы в нижней части дамбы для предотвращения ее сдвига до ее стабилизации.

Сроки проведения циклов инструментальных наблюдений должны устанавливаться в зависимости от интенсивности развития процесса сдвига. При активизации процесса сдвига сроки между сериями наблюдений могут быть сокращены до нескольких недель или даже дней.

Так в период интенсивных деформаций были проведены серии инструментальных наблюдений с интервалами измерений в 7 дней. В период стабилизации деформаций инструментальные наблюдения проводились один раз в месяц.

Наглядно механизм деформирования дамбы и деформации по наиболее характерному направлению представлены в виде графиков оседаний реперов Г15 и Г22 за весь период наблюдений (рис.1 и 2).

Выпуклая часть диаграммы (1-70 дни) показывает рост интенсивности деформаций.

Вогнутая часть (70-160 дни) – стабилизация деформаций.

После строительства и начала работы золопровода (200-249 дни) – некоторая активизация процесса деформирования дамбы.

Анализ механизма деформирования дамбы №1 показывает необходимость проведения систематических инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости ограждающих дамб и плотин гидротехнических сооружений для управления их состоянием и обеспечения безопасной эксплуатации золоотвала.

Необходимо исходить из условия, что прогнозируемая скорость смещения реперов за период между циклами наблюдений не должна превышать допустимых значений (табл. 2).

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

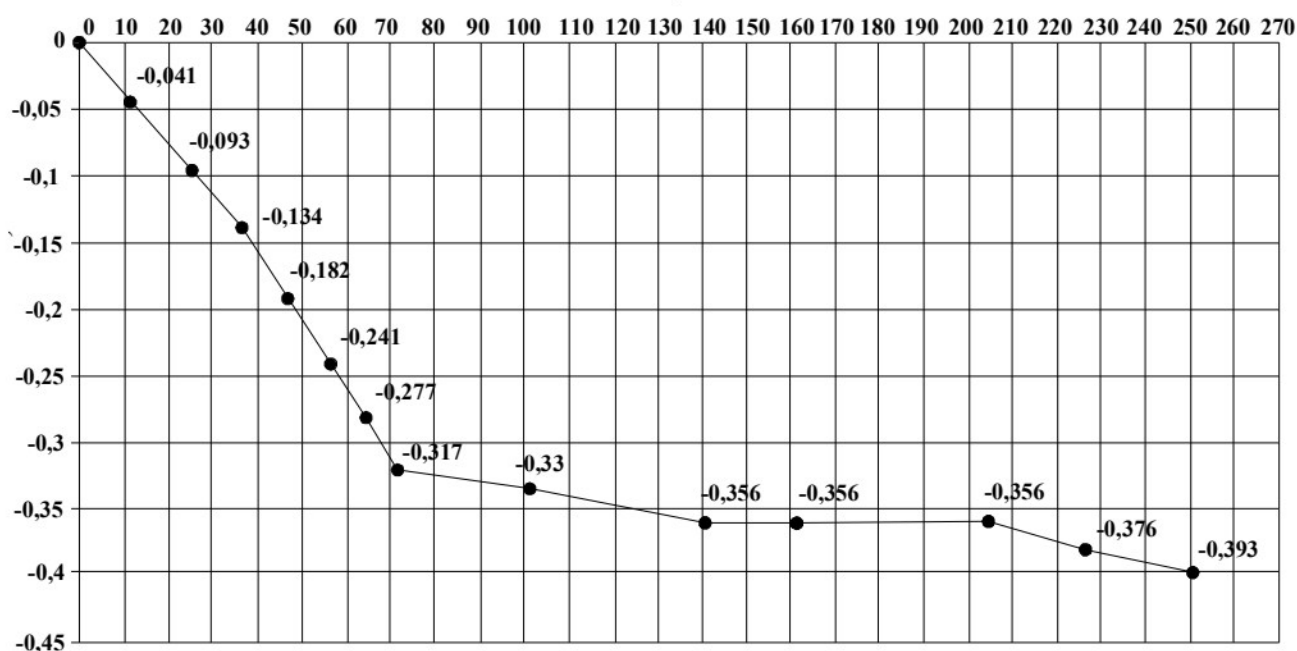


Рис.1. График оседаний репера Г22 (02.12.00-11.08.01)

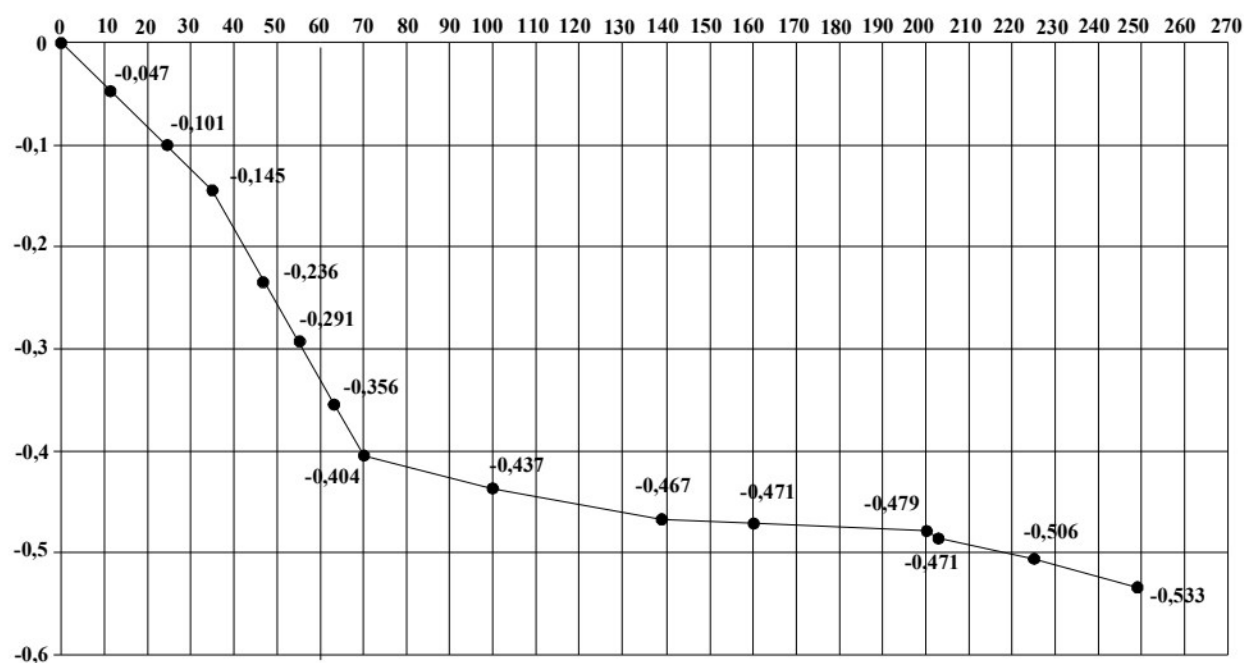


Рис.2. График оседаний репера Г15 (02.12.00-11.08.01)

Таблица 2

### Характеристика стадий деформаций и периодичность циклов наблюдений

| Стадии деформаций               | Скорость смещения реперов $v$ , мм/сутки      | Интервалы времени между циклами  |
|---------------------------------|---|--|
| Стадия затухающих деформаций    | Не превышает 1 мм/сутки и затухает во времени | Через 3–4 месяца, но реже 1–2 раз в год  |
| Стадия не затухающих деформаций | 0,5 мм/сутки<br>1,0 мм/сутки                  | Один раз в два месяца<br>Ежемесячно  |
| При активизации процесса        | От 1 мм/сутки до 10 мм/сутки                  | Несколько недель и даже дней   |
| Стадия активных деформаций      | Со скоростными смещениями 10 мм/сутки и более | Интервалы времени между сериями наблюдений сокращаются до нескольких часов, в отдельных случаях устанавливаются автоматические сигнализаторы скорости деформаций |
| Скрытая стадия развития оползня | К концу скрытой деформации 1–10 мм/сут        | От одного раза в месяц до недель   |
| Стадия затухания оползня        | До полного прекращения смещения               | Не реже 1–2 раз в год  |

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

Характер деформаций сооружений определяется, как известно, *величиной и скоростью*, т.е. изменением процесса деформаций за выбранный интервал времени. Точность и периодичность маркшейдерских измерений назначают таким образом, чтобы полученные результаты удовлетворяли принципу практической уверенности как в самой величине деформаций на момент наблюдений, так и в ее интенсивности, что позволяет, с одной стороны, судить о неизменности изучаемого процесса во времени и невозможности потери информации о характере его изменения – с другой. При этом величина интенсивности деформаций играет более существенную роль, чем ее абсолютная величина.

Точность маркшейдерских наблюдений за деформациями сооружений может быть нормирована, исходя из величин, определяющих предельное состояние высотного положения исследуемого сооружения и характера протекания осадок и деформаций [2].

Допустимые погрешности определения осадок для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах, составляет 0,005 м.

Методическими указаниями [4] установлено, что при наблюдениях за активными оползнями со скоростными смещениями 10 мм/сут и более серии наблюдений проводятся ежедневно. Если скорость смещения реперов увеличивается во времени, то для установления критической скорости смещения, предшествующей срыву оползней, интервалы времени между сериями наблюдений сокращаются до нескольких часов, в отдельных случаях устанавливаются автоматические сигнализаторы скорости деформаций.

Степень опасности деформаций определяется сравнением скорости смещения и величины деформаций с их допустимыми значениями, установленными для конкретных пород лабораторными исследованиями деформационных свойств образцов пород.

При решении вопроса об установлении периодичности циклов наблюдений (т.е. наступлении сле-

дующего цикла наблюдений) необходимо исходить из условия невозможности потери информации об изменении характера происходящего процесса (деформации).

При установлении периодичности циклов необходимо руководствоваться следующими соображениями:

- целесообразно исходить из условия, что периодичность геодезических наблюдений, т.е. проведение следующего (n+1)-ого цикла, находилась в интервале  $t_{n+1}$  с  $[t_n; t_{ПР}]$ , что с учетом известных экономических требований приводит к тому, что за время  $t_{n+1}$  принимается наиболее удаленное значение времени  $t_n$ , т.е.  $t_{n+1} = t_{ПР}$ ;

- частота измерений зависит от развития деформаций сооружения (скорости смещения точек массива) во времени – консолидации. Необходимо установить такой интервал между циклами наблюдений, который не приводил бы к потере информативности о процессе развития деформаций. При этом необходимо быть уверенным в том, что характер процесса деформации хорошо изучен и можно заранее, с определенной степенью вероятности, определить величину смещения реперов в следующем цикле наблюдений.

### Литература

1. Андреева Ф.В., Борисенков Б.Г., Бузятов В.Г., Сытник В.С. *Геодезическое обеспечение жилищно-гражданского и промышленного строительства*. – М.: Недра, 1988. – 270с.
2. Дёмин А.М. *Закономерности проявления деформаций откосов в карьерах*. – М.: Недра, 1981.-144с.
3. ВНИМИ. *Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости*.- Л., 1971.- 187с.
4. *Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости*. КГК ЧС и ПБ РК, №39 от 22.09.2008.

*Ольга Газисовна Бесимбаева, к.т.н., доцент кафедры МДиГ;  
Елена Алексеевна Панасенко, магистрант, ассистент  
кафедры МДиГ, тел.:87009974533;  
Нурлан Газисович Бесимбаев, студент 4 курса ГД-08-6  
(Карагандинский Государственный Технический  
Университет)*

### Уважаемые коллеги!

*Напоминаем Вам, что продолжается прием заявок на участие в работе очередного IX съезда членов Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России» и Всероссийской научно-практической конференции «Промышленная безопасность при недропользовании и охрана недр», которые будут проведены с 28 мая по 2 июня 2012 г. в г.Кисловодске. Организатором традиционно выступают Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России», Российское геологическое общество (РосГео), НП «СРГП «Горное дело», НОЧУ «ЦДО «Горное образование» при участии Управления горного надзора Ростехнадзора.*

*Получить информацию о программе и докладчиках, а также о дополнительных мероприятиях можно на сайте [www.mwork.su](http://www.mwork.su), [www.gorobr.ru](http://www.gorobr.ru) или по телефонам (495) 641-00-45; (499) 263-15-55.  
E-mail: [smr@mwork.su](mailto:smr@mwork.su); [info@gorobr.ru](mailto:info@gorobr.ru); [gorobr@inbox.ru](mailto:gorobr@inbox.ru)*

**Редакция «МВ»**



*В.В.Зубков, И.А.Зубкова, В.Я.Коноваленко*

## **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРА "НЮРБИНСКИЙ" В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ**

Представлены результаты численных экспериментов о влиянии разрывных нарушений на устойчивость прибортового массива карьера "Нюрбинский".

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** борт карьера; устойчивость; напряженное состояние; смещения; расчет; численные методы; 3DEC.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что на устойчивость бортов карьеров оказывают влияние многочисленные факторы, один из которых - количество разрывных тектонических нарушений. Образование и развитие новых поверхностей скольжения и их положение в массиве в значительной степени зависит от слоистости и тектонической нарушенности прибортового массива. Эти факторы зачастую являются решающими при оценке устойчивости бортов карьеров. Поэтому представляется целесообразным проводить прогнозную оценку состояния прибортового массива с использованием современных компьютерных программ.

### **1. МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ**

Ранее большинство расчетов устойчивости бортов карьеров выполнялось путем графических построений. Это направление основано на использовании теории предельного равновесия сыпучей среды. В этом случае не нужно было знать напряженное состояние прибортового массива, но требовалось задание границы зоны возможного разрушения. Для ее построения используются различные методы. Наиболее распространенный из них – метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, относящийся к схеме плоской задачи. Этому направлению посвящено много публикаций, обзор которых приведен в многочисленных монографиях и статьях, например, [1-4].

Второе направление основано на численных методах. В основном используется метод конечных элементов (FEM), метод конечных разностей (FDM) или метод отдельных элементов (DEM). Они имеют большие преимущества по сравнению с традиционными методами, поскольку не только удовлетворяют условиям равновесия, но и позволяют рассчитывать напряженное состояние прибортового массива. Следует отметить, что в традиционной постановке эти методы позволяют рассчитывать напряженное состояние, поле смещений и пластические зоны в породном массиве. С развитием компьютерной техники и теории пластичности для горных пород в программах были реализованы нелинейные технологии, позволяющие использовать их при анализе устойчивости бортов карьеров. Эти технологии успешно используются многими авторами [5-7].

Расчету напряженного состояния прибортового массива и анализу устойчивости бортов карьеров посвящено много работ, например, [8-12].

В настоящее время существует достаточное количество программ для анализа устойчивости бортов карьеров. Например, в обзоре, представленном в Ин-

тернете, зафиксировано более 100 программ. Поэтому следует очень тщательно подходить к выбору программного продукта. Следует отметить, что многие программы, в первую очередь коммерческие, разработаны с использованием новейших компьютерных технологий и имеют хороший пользовательский интерфейс. Однако существует проблема – как эффективно использовать их и получать надежные результаты.

Анализ возможностей ряда программных продуктов, с помощью которых можно получить информацию для геомеханического обоснования проектов отработки алмазных месторождений, показал перспективность использования программы 3DEC [13-17], в которой реализована методика расчета фактора безопасности (Safety Factor).

Расчету напряженного состояния прибортового массива и анализу устойчивости бортов карьеров в зонах влияния разрывных нарушения с использованием программы 3DEC посвящено много работ, например, [18-26]. Представленные в этих работах результаты численного моделирования напряженного состояния породного массива в зонах влияния тектонических нарушений хорошо согласуются с данными натурных наблюдений. Поэтому для решения поставленной задачи использована программа 3DEC.

### **2. ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ**

Построение расчетной модели карьера в формате, используемом в программе 3DEC, можно выполнить несколькими способами в зависимости от сложности рассматриваемого объекта. В данном случае была взята объемная схема карьера трубки Нюрбинская [27] в формате AutoCAD. В связи с особенностями подготовки исходной информации к программе 3DEC нижняя бровка каждого горизонта карьера импортировались из AutoCad в цифровом виде. С использованием графического пакета Surfer выполнялась оцифровка контура карьера для каждого горизонта. Построение расчетной модели карьера выполнялось послойно. Под слоем понимается породная толща прибортового массива между двумя последовательными горизонтами. Разделение слоя на блоки выполнялось по разработанной программе (на языке Fortran PowerStation 4.0) в формате команд программы 3DEC и специализированного – FISH программирования для 3DEC. В итоге получается блоковая структура расчетной модели карьера. Затем послойные модели карьера и кимберлита объединяются в единую расчетную модель, задаются размеры внешней расчетной области и получаем блоковую структуру

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

ру расчетной модели. Генерация сетки элементов расчетной модели карьера выполняется в программе 3DEC для каждого слоя расчетной модели карьера.

### 3. ЗАДАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Известно, что устойчивость бортов карьеров обуславливается главным образом наличием в них поверхностей ослабления (трещин, разрывных нарушений, плоскостей напластования или слоистости, прослоев пород со слабым сопротивлением сдвигу) и их ориентировкой относительно друг друга и плоскости борта карьера. Согласно классификации авторов [28], осадочные отложения платформенного чехла, вскрываемые в карьере трубки Нюрбинская, относятся ко второму структурному типу – слоистому массиву. Особенностью подобных массивов является наличие слабых прослоев (глинистых, углисто-глинистых, рассланцованных пород и т.д.). Следует отметить, что наличие субгоризонтальных границ яв-

ляется определяющим фактором для возникновения деформаций карьерных откосов только в том случае, если они имеют наклон в сторону выемки. В противном случае в формировании потенциальной поверхности скольжения основную роль играют субвертикальные трещины и разрывные нарушения. Проведенные натурные наблюдения за состоянием бортов карьера Нюрбинский [27] показали, что условия, благоприятные для развития процесса соскальзывания блоков пород по плоскостям кососекущих (по отношению к уступам карьера) разрывов, могут возникнуть, например, в зонах разрывных нарушений №12, 48 и 50.

В результате выполненного анализа геологических условий прибортового массива и обобщения данных о физико-механических свойствах слагающих его пород для расчетов приняты следующие характеристики пород (табл. 1) и нарушений (табл. 2).

Таблица 1

#### Усредненные физико-механические характеристики породного массива карьера Нюрбинский

| № | Породы                | $E$ , МПа | Коэффициент Пуассона | Удельный вес, Н/м <sup>3</sup> | Угол внутр. трения, градус | Прочность на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа |
|---|-----------------------|-----------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|---|
| 1 | Магматические породы  | 12 000    | 0.35                 | 25 900                         | 35                         | 16.3                                    |
| 2 | Доломиты + известняки | 8 500     | 0.24                 | 23 789                         | 28                         | 46.0                                    |
| 3 | Кимберлит             | 37900     | 0.25                 | 24035                          | 40                         | 36.0                                    |
| 4 | Каменная соль         | 5450      | 0.33                 | 21092                          | 29                         | 20.3                                    |

Таблица 2

#### Усредненные физико-механические характеристики разрывных нарушений

| № нарушения | Угол падения, градус | Азимут, градус | Нормальная жесткость, ГПа/м | Касательная жесткость, ГПа/м | Сцепление, МПа | Угол внутр. трения, градус |
|-------------|----------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|----------------------------|
| 12          | 70                   | 171            | 20.0                        | 2.0                          | 0.2            | 10                         |
| 48          | 85                   | 136            | 20.0                        | 2.0                          | 0.2            | 10                         |
| 50          | 87                   | 65             | 20.0                        | 2.0                          | 0.2            | 10                         |

### 4. ПРОГНОЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И СМЕЩЕНИЙ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА

При принятых характеристиках массива проведена оценка напряженно-деформированного состояния прибортового массива карьера Нюрбинский. Например, расчетные значения смещений в прибортовом массиве в широтном направлении составляют 8.1 см, а в меридиональном – 4.1 см.

После включения в расчетную схему разрывных нарушений №12, 48 и 50 смещения прибортового массива в зоне их влияния возросли до 22.6 см в широтном направлении и до 11.6 см в меридиональном направлении.

Анализ данных натурных наблюдений за состоянием бортов карьера Нюрбинский показал, что максимальные смещения прибортового массива со-

ставляют 50.0 см [29]. Понятно, что в процессе эксплуатации карьера физико-механические характеристики прибортового массива уменьшается, например, за счет разгрузки, проникновения поверхностных вод и массовых взрывов. Поэтому необходимо корректировать их в соответствии с данными натурных наблюдений. В результате численных экспериментов определены физико-механические характеристики прибортового массива, при которых максимальные смещения составляют 46.0 см.

При скорректированных данных проведена оценка напряженно-деформированного состояния прибортового массива карьера Нюрбинский. На рисунках 1-3 приведены расчетные смещения прибортового массива карьера Нюрбинский с учетом влияния разрывных нарушений №12, 48 и 50.

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

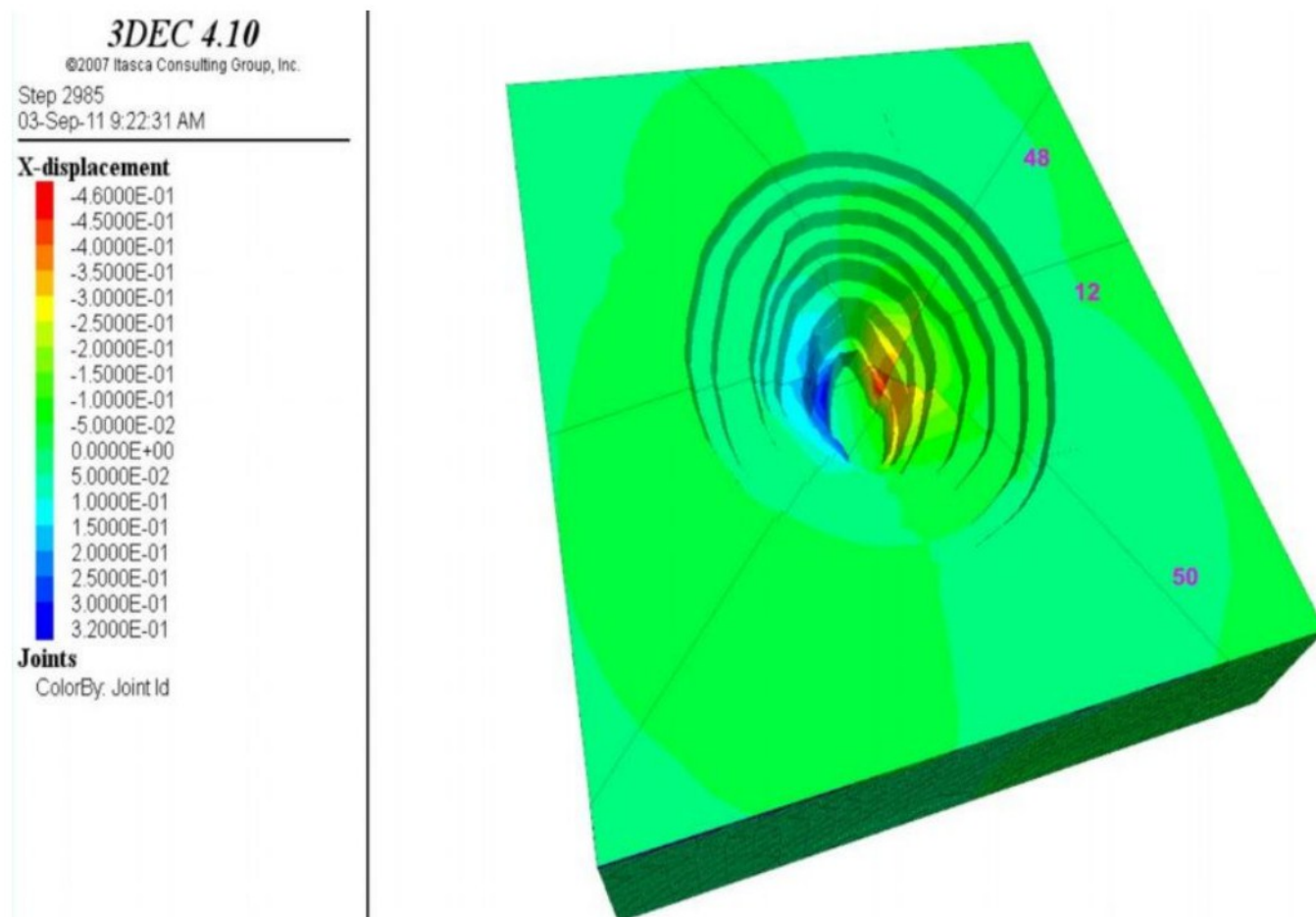


Рис.1. Меридиональные смещения приборного массива карьера Нюрбинский в зоне влияния разрывных нарушений №12, 48 и 50

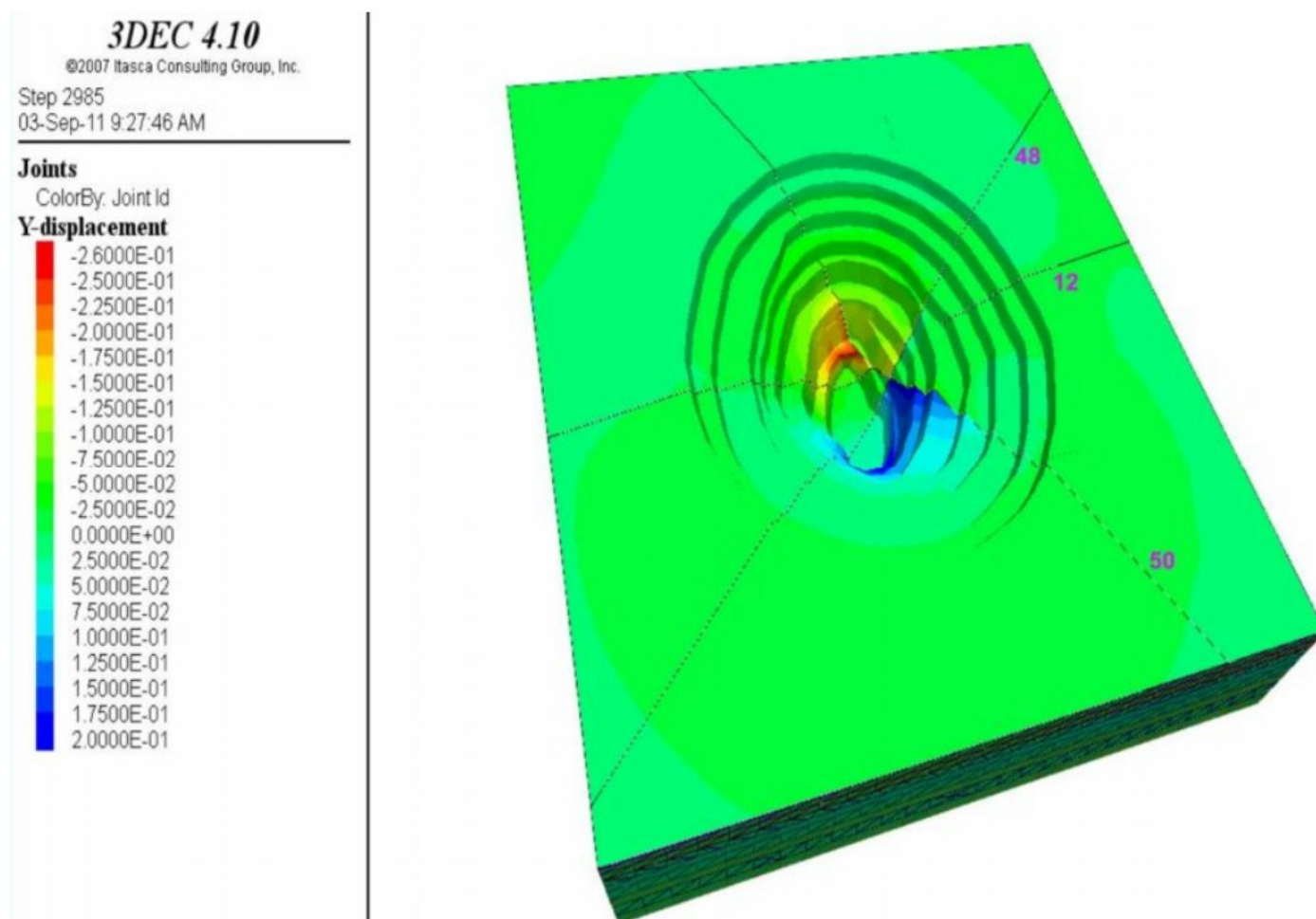


Рис.2. Широтные смещения приборного массива карьера Нюрбинский в зоне влияния разрывных нарушений №12, 48 и 50

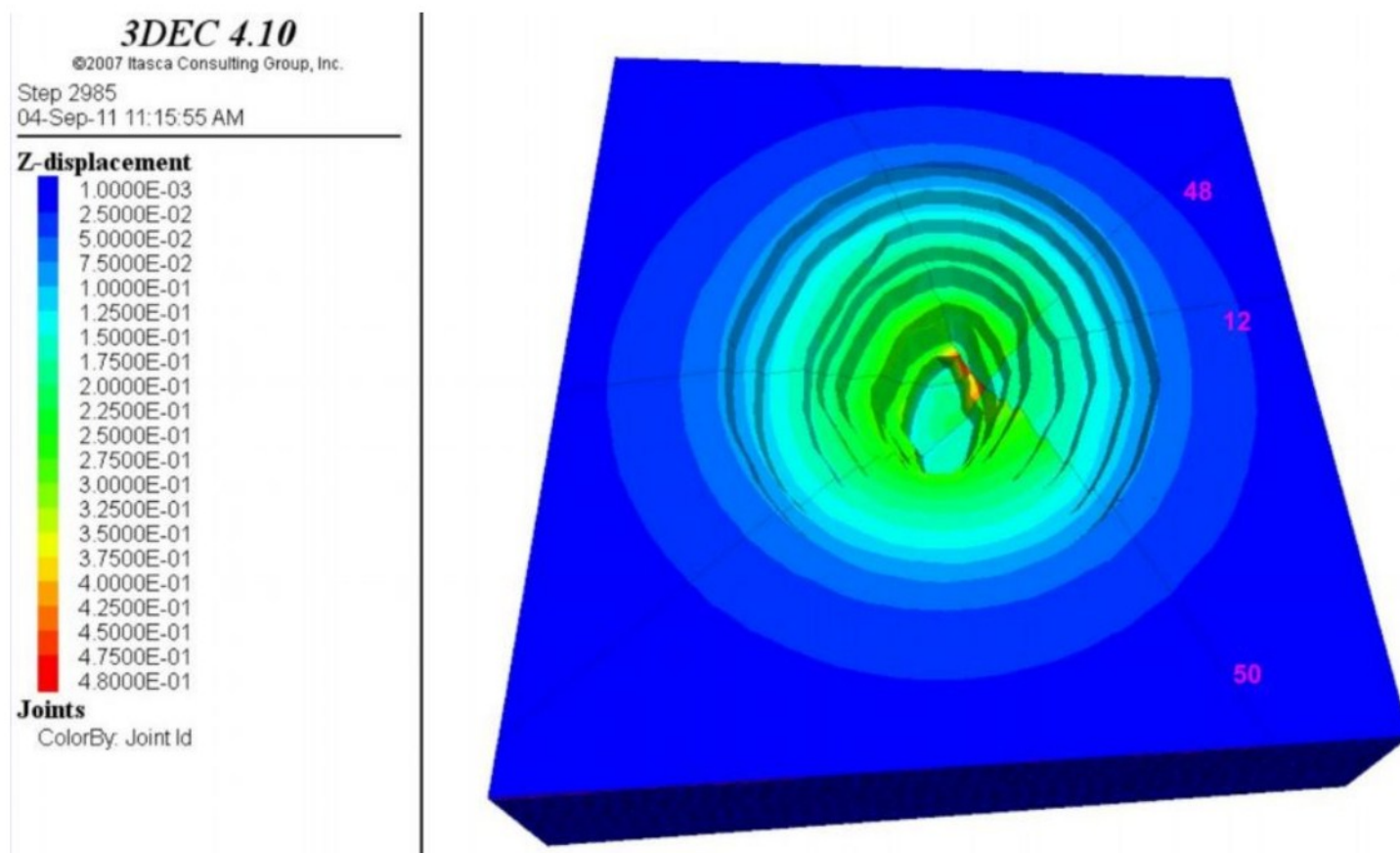


Рис.3. Вертикальные смещения прибортового массива карьера Нюрбинский в зоне влияния разрывных нарушений №12, 48 и 50

Результаты расчетов показали, что максимальные смещения прибортового массива будут в северо-восточном секторе на втором уступе в локальной зоне пересечения разрывных нарушений №12 и 48 и в северо-западном секторе зоне пересечения разрывных нарушений №12 и 50. Вектор скоростей смещений указывает, что максимальные подвижки будут в северо-восточном секторе в локальной зоне пересечения разрывных нарушений №12 и 48.

### 5. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА

Геомеханическими расчетами [30] установлено, что для карьера Нюрбинский глубиной 250 м коэффициент запаса составляет 1.55-1.87.

В программе 3DEC по аналогии с коэффициентом запаса вычисляется фактор безопасности. Он рассчитывается как отношение действующих напряжений в прибортовом массиве к напряжениям, приводящим к разрушению породного материала, т.е. он идентичен коэффициенту запаса. Анализ интернет-ресурсов по проблеме устойчивости бортов карьеров показал, что значение фактора безопасности, соответствующее безопасным условиям отработки, лежит в интервале 1.25-1.5.

После оценки напряженного состояния прибортового массива карьера Нюрбинский проводился расчет значений фактора безопасности. Например, его величина для карьера без учета разрывных нарушений составляет  $FS=3.82$ . После включения в расчетную схему разрывных нарушений №12, 48 и 50 значение фактора безопасности снизилось до  $FS=2.89$ .

Как отмечено в работе [31], что хотя упругие характеристики породного массива играют существенную роль при оценке смещений породного массива, они оказывают небольшое влияние на расчет фактора безопасности. Поэтому наряду с корректировкой физико-механических характеристик прибортового массива были изменены значения жесткости и угла внутреннего трения нарушений (за счет проникновения поверхностных вод и массовых взрывов). Например, при значении нормальной жесткости на нарушениях  $k_n=2$  ГПа/м значение фактора безопасности снизилось до  $FS=2.31$ .

Таким образом, вероятность возникновения крупномасштабных деформаций бортов, способных привести к серьезным авариям, практически отсутствует.

### 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогнозная оценка фактора безопасности дает интегральную характеристику устойчивости бортов карьера и может служить для качественной оценки ее изменения в зависимости, например, от наличия тектонических нарушений или техногенных разрывов.

При наличии экспериментальных данных о смещении бортов карьера можно скорректировать физико-механические характеристики прибортового массива и оценивать напряженно-деформированное состояние породного массива. В противном случае мы наблюдаем тенденцию его изменения.

Расчетные значения смещений в прибортовом массиве после включения в расчетную схему разрыв-



## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

ных нарушений возросли на 64% в локальных зонах пересечения разломов.

Прогнозная оценка смещений прибортового массива позволяет выявить потенциально опасные участки и может быть использована, например, при разработке рекомендаций по выявлению участков требующих укрепления уступов в зоне влияния разрывных нарушений.

### Литература

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов угольных карьеров. Углетехиздат, 1956.
2. Федоров И.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов. М., Госстройиздат, 1962.
3. Bishop, A.W. "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes" *Geotechnique*, 1955, vol.5, №1, pp.7-17.
4. Spencer, E. "A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces," *Geotechnique*, 1967, vol.17, №1, pp.11-26.
5. Giam, S. K., and Donald, I. B. "Determination of Critical Slip Surfaces for Slopes via Stress-Strain Calculations," *Proceedings of the 5th Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*, Sydney, Australia, 1988, pp.461-464.
6. Dawson, E.M., Roth, W.H., and Drescher, A. "Slope Stability Analysis by Strength Reduction," *Geotechnique*, 1999, vol. 49, №6, pp. 835-840.
7. Griffiths D V, Jane P A. *Slope stability analysis by finite elements*, *Geotechnique*, 1999, 49(3): pp.387-403.
8. Яковлев В.Л., Яковлев А.В. Оценка напряженного состояния прибортовых массивов карьеров. ФТПРПИ, №3, 2007.
9. Еременко А.А., Серяков В.М., Филатов А.П. Оценка напряженного состояния массива горных пород при отработке подкарьерных запасов трубки "Удачная". ФТПРПИ, №4, 2007.
10. Дроздов А.В., Мельников А.И. Особенность строения многофазовых кимберлитовых трубок (на примере трубки Удачной). *Маркшейдерия и недропользование*. №1 (39), 2009.
11. Термо- и геомеханика алмазных месторождений/ А.А.Козеев, В.Ю.Изаксон, Н.К.Звонарев. - Новосибирск, Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1995. 245 с.
12. Оценка устойчивости бортов карьеров (разрезов) и отвалов. Методические указания /сост. А.А.Григорьев, Е.В.Горбунова, А.Н.Десяткина. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. - 37 с.
13. Cundall P.A. and R.D. Hart. "Development of Generalized 2-D and 3-D Distinct Element Programs for Modeling Jointed Rock", *Itasca Consulting Group; Misc. Paper SL-85-1, U.S. Army Corps of Engineers*, 1985.
14. Cundall P.A., Hart R.D. *Development of generalized 2-D and 3-D distinct element programs for modeling jointed rock*. *Itasca Consulting Group, U.S Army Corps of Engineers, Misc. Paper SL-85-1*, 1985.
15. P.A.Cundall "Formulation of a three-dimensional distinct element model – Part I. A scheme to detect and represent contacts in a system composed of many polyhedral blocks". *Int. J. Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 25. 1988, pp.107–116.
16. Hart R., P. Cundall and J. Lemos. "Formulation of a Three-Dimensional Distinct Element Model – Part II: Mechanical Calculations for Motion and Interaction of a System Composed of Many Polyhedral Blocks". *Int. J. Rock Mech., Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 1988. 25, 117-126.
17. Itasca, 3DEC version 4.10, *Itasca Consulting Group Inc. Minneapolis, Minnesota*. 2008.
18. Cundall P.A. "Numerical Modeling of Jointed and Faulted Rock," in *Mechanics of Jointed and Faulted Rock*, pp. 11-18. Rotterdam: A.A.Balkema, 1990.
19. Cundall P.A. and J.V. Lemos. "Numerical Simulation of Fault Instabilities with the Continuously Yielding Joint Model". in *Rockbursts and Seismicity in Mines*, pp. 147-152. C.Fairhurst, ed. Rotterdam: A.A.Balkema, 1990.
20. Bigarre P., K.Ben Slimane and J.Tinucci. "3-Dimensional Modelling of Fault-Slip Rockbursting" in *Rockbursts and Seismicity in Mines 93 (Proceedings of the International Symposium, Kingston, Ontario, Canada, August, 1993)*, pp.315-319. R.Paul Young, ed.Rotterdam: A.A.Balkema, 1993.
21. Dupin J.-M., W.Sassi and J.Angelier. "Homogeneous Stress Hypothesis and Actual Fault Slip: A Distinct Element Analysis," *J. Struct. Geol.*, 15(8), 1033-1043 (1993).
22. Brideau M.-A., Yan M., and Stead D. The role of tectonic damage and brittle rock fracture in the development of large rock slope failures. *Geomorphology*. 103(1):30-49. 2009.
23. Marc-André Brideau and Doug Stead "The role of rear release surfaces, block size and lateral confinement on rock slope failure mechanisms".
24. D.Sainsbury, F.Pothitos, D.Finn, R.Silva "Three-Dimensional Discontinuum Analysis of Structurally Controlled Failure Mechanisms at the Cadia Hill Open Pit".
25. Cappa F., Guglielmi Y., Rutqvist J., Tsang C.-F., Thoraval A. "Hydromechanical modelling of pulse tests that measure fluid pressure and fracture normal displacement at the Coaraze Laboratory site".
26. Palassi M. and Ashitiani M. "Comparison of 2D and 3D distinct element analyses in stability of convex jointed rock slopes". 61st Canadian Geotechnical Conference and 9th Joint CGS/IAH-CNC Groundwater Conference. *Canadian Geotechnical Society, Edmonton, AB*, pp.640-645. 2008.
27. Отчет НИР "Комплексное изучение структурно-тектонической и геолого-технологической структуры карьерного поля трубки Нюрбинская". ИЗК СО РАН, 2010.
28. Дунаев В.А., Серый С.С. Методика натурного изучения, геотехнического районирования и моделирования структуры скальных горных массивов в условиях открытой разработки месторождения. – "Горная промышленность", 1999, №1.
29. Коноваленко В.Я. Заключение об устойчивости бортов карьера "Нюрбинский". Мирный, Институт "Якутнипроалмаз", 2008, 55 с.
30. Коноваленко В.Я., Чернов В.Г. Геомеханические параметры проектируемых карьеров на трубках "Нюрбинская" и "Ботуобинская". Научно-практическая конференция "Особенности освоения алмазоносных кимберлитовых трубок Накынского рудного поля". 11 июля 2002 г. Тезисы докладов. Мирный., Институт "Якутнипроалмаз", 105 с.
31. Зубков В.В., Зубкова И.А. Влияние природных факторов на устойчивость бортов карьеров. - журнал "Рудник будущего", ООО "ЗУМК Инжиниринг", Пермь, 2010 г., вып. №2, с. 68-70.

Виктор Васильевич Зубков, д.т.н., гл.н.с.;

Ирина Александровна Зубкова, к.т.н., ст.н.с.

("Научный центр геомеханики и проблем горного производства" СПГГУ);

Виктор Яковлевич Коноваленко, к.т.н., Якутнипроалмаз

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА СДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ СКВАЖИННОЙ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Предложен новый методический подход к прогнозу сдвижений земной поверхности при скважинных методах освоения месторождений полезных ископаемых.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** скважинная добыча полезных ископаемых; геомеханическое обеспечение; прогноз сдвижения горных пород.

### Введение

Проблема обеспечения энергоресурсами с каждым годом все более обостряется. Ликвидация значительного числа угольных предприятий приводит к необходимости доставки сырья в регионы из удаленных бассейнов, в которых угольная промышленность работает на пределе своих возможностей, что ведет к удорожанию ее продукции. В результате истощения сырьевой базы в настоящее время возникают задачи по отработке запасов в сложных условиях.

В качестве примера таких условий можно привести Подмосковский угольный бассейн. Он обладает следующими характеристиками:

- относительно небольшая глубина залегания полезного ископаемого;
- слабые вмещающие породы;
- сильная обводненность.

Одним из путей решения указанной проблемы является возобновление добычи угля из уже отрабатываемых подземным способом месторождений, но на новом, более современном уровне. Скважинная добыча (например, газификация угля, выплавка серы через скважины, скважинная гидродобыча) полезных ископаемых является одним из наиболее перспективных способов освоения месторождений минерального сырья. Основное достоинство этого способа состоит в безопасности горных работ, поскольку добыча сырья ведется без присутствия людей в очистном забое и управление этим процессом осуществляется с поверхности. Еще одной особенностью скважинных способов добычи является отсутствие выработанного пространства в классическом понимании, так при добыче самородной серы скважинным способом образуется зона выплавки, при газификации – выгазованное пространство, поэтому в данной работе для обозначения «выработанного пространства» будет использоваться термин «зона отработки». **Зона отработки** – область массива горных пород, которая подвергается тем или иным воздействиям (физическим, химическим, физико-химическим), направленным на добычу полезного ископаемого.

Анализ этих технологий и результатов их внедрения показал, что, как правило, отсутствует достоверная информация о положении зоны отработки, ее размерах, форме и динамике развития во времени, но есть возможность фиксации последствий воздействия на массив горных пород, которые выражаются в развитии сдвижений и деформаций толщи горных пород и земной поверхности, маркшейдерскими методами. Это потребовало более детального исследова-

ния характера распределения сдвижений и деформаций в мульде сдвижения. В результате этих исследований для различных условий и технологий были разработаны методики, которые позволяют оценивать границы области отработки и ее положение в массиве, различных показателей эффективности ведения добычных работ при использовании скважинных методов добычи. Все эти методики основаны на обработке результатов наблюдений за сдвижением земной поверхности, выявлении характерных особенностей распределения сдвижений и деформаций, по которым и делаются выводы о размерах и форме зоны отработки. Вопросы прогноза сдвижений и деформаций при применении скважинных технологий проработаны слабо. Это обусловлено следующим: если представить сдвижения земной поверхности как функцию от ряда факторов (строение массива, свойства пород, размеры, форма и динамика развития зоны отработки во времени), то аналитическое решение этой задачи на современном этапе получить невозможно из-за наличия большого числа неизвестных. Богатый опыт наблюдений за сдвигами и деформациями толщи массива и земной поверхности при отработке угольных месторождений позволил разработать различные методы аппроксимации и расчета таких функций для целей прогноза (например, метод типовых кривых). Опыт использования численных методов для получения прогноза сдвижения земной поверхности положительных результатов не дал в виду того, что при возникновении областей обрушений процесс деформирования становится очень сложным. Бурное развитие вычислительной техники, которое наблюдается в последнее время, позволило преодолеть ряд проблем и дало возможность решать подобные задачи.

Для развития методов геомеханического обеспечения скважинных способов добычи необходимо продолжить исследования в области выявления взаимосвязи между состоянием толщи массива и характером распределения сдвижений в мульде. Это позволит повысить точность определения размеров зоны отработки, снизить потери добычных скважин и разрушение оборудования, расположенного на земной поверхности, из-за негативного влияния процесса сдвижения.

### Постановка задачи

Методы прогноза, которые применяются в настоящее время, базируются на известном размере выработанного пространства и его положении относительно земной поверхности. Другой характерной

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

особенностью применяемых методов прогноза (например, метода типовых кривых) является то, что они не учитывают состояние массива горных пород и позволяют дать прогноз сдвижений и деформаций только для земной поверхности. При скважинных методах добычи, как отмечалось выше, положение и размеры зоны отработки, а также возможность визуального обследования и инструментальных наблюдений за поведением кровли отсутствует, что приводит к необходимости увязывания сдвижений земной поверхности с процессами, происходящими в толще массива горных пород. Таким образом, задача совершенствования методов прогноза для скважинных методов добычи сводится к созданию инструмента (методики расчета и соответствующего математического аппарата), который позволит на основе известных закономерностей поведения горных пород при нагружении и деформировании слоистого массива по величинам сдвижений и деформаций земной поверхности определять состояние толщи массива горных пород или отдельных его областей.

В качестве эталона были взяты эксперименты, которые проводил С.Г.Авершин в Подмосковном угольном бассейне на станциях газификации угля. Основная цель его экспериментов – разработка метода определения положения огневого забоя по результатам наблюдений за сдвигами и деформациями земной поверхности. Для этого в 1940 г. в Подмосковном бассейне была заложена наблюдательная сеть пунктов над запроектированными к выгазовыванию двумя панелями. В 1940-1941 гг. производилось выгазовывание угля на указанном участке. В течение всего периода выгазовывания угля производились работы, направленные на определение положения огневого забоя.

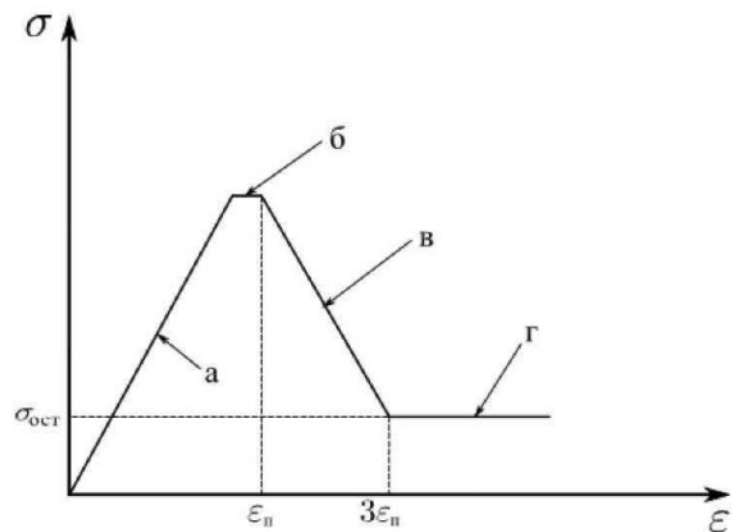
Наблюдения были сгущены во времени до промежутков в несколько часов. Наблюдения такой частоты предпринимались с целью выяснения той скорости, с какой распространяется влияние обрушения кровли на поверхность, в частности, влияние периодических искусственных обрушений (посадок кровли).

Таким образом, согласно общей трактовке задачи необходимо произвести расчеты по определению состояния массива горных пород для условий эксперимента и определить возможность получения прогноза сдвижений земной поверхности с учетом состояния толщи массива горных пород.

**Применяемый методический подход к решению задачи.** Для проведения численных экспериментов по определению влияния НДС толщи горных пород на сдвигание земной поверхности использовалась специально разработанная модель, учитывающая эффект делатансии (увеличение в объеме) горных пород при разрушении или их разрыхлении (рис.1).

**Модель с делатансией.** Данная модель построена на базе идеальной упругопластической модели, которая является обобщением упругой и жесткой среды с внутренним трением [2]. Реализация подобной модели в деформационной постановке гаран-

тирует единственность получаемых решений, соосность напряжений и деформаций. Деформационная характеристика модели представлена на рис.1.



**Рис. 1. Деформационная характеристика модели:**

а - область линейного деформирования, б - область пластических деформаций, в - область запредельного деформирования, г - область остаточных напряжений

Как видно из рисунка в этой модели выделяется несколько состояний (или областей):

- область упругих деформаций;
- область пластических деформаций;
- область запредельного деформирования;
- область, в которой напряжения снижаются до некоторого остаточного уровня и порода теряет связанность (разрушается).

**Описание конечно-элементной модели.** Для условий Подмосковного угольного бассейна была принята следующая структурная модель (разрез сверху вниз):

1. Суглинок. Мощность пласта-5 м.
2. Песок. Мощность пласта-14 м.
3. Глина. Мощность пласта - 4 м.
4. Суглинок. Мощность пласта - 4 м.
5. Известняк. Мощность пласта-2 м.
6. Глина. Мощность пласта-8 м.
7. Песок. Мощность пласта-16 м.
8. Глина. Мощность пласта - 2 м.
9. Уголь. Мощность пласта-2 м.
10. В основание модели заложен известняк.

Все прочностные и деформационные свойства пород, слагающих разрез, взяты из [1]. Конечно-элементная модель составлялась на основе структурной модели и описывала неоднородный слоистый изотропный массив. При решении задавались следующие исходные данные и граничные условия:

- с учетом симметрии расчетная область составляет 1/2 от полной модели;
- для моделирования зоны отработки в модели на полную мощность удалялась часть угля, пролет - 20 м (с учетом симметрии- 10 м);
- нагрузки задавались согласно теории, по которой на обнажение действует вес столба пород над обнажением. Данный способ задания нагрузки был

применен по двум причинам:

а) данная теория хорошо зарекомендовала себя при выполнении различных геомеханических расчетов для небольших глубин;

б) использование такого подхода позволяет дифференцированно подходить к нагружению горных пород в модели и последовательно включать слои горных пород, слагающих разрез, в работу по мере распространения влияния горных работ;

– для расчетов методом конечных элементов в классической постановке для задания нагрузок использовался собственный вес горных пород, слагающих разрез;

– были приняты следующие граничные условия: по боковым граням модели задавались нулевые горизонтальные перемещения; по нижней горизонтальной грани – нулевые вертикальные перемещения.

### Решение задачи

Одной из самых больших трудностей в повторении экспериментов Авершина через математическое моделирование является то, что у него представлены результаты по некоторой промежуточной стадии процесса сдвигания и нет привязки к состоянию толщи массива горных пород. Для решения этой проблемы был использован методический подход, который изложен ниже.

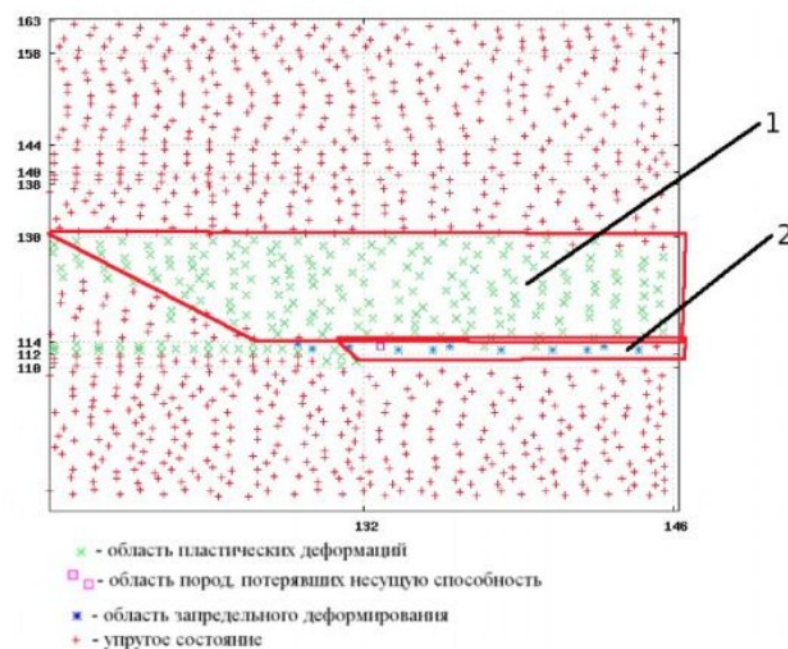
На первом этапе согласно принятой схеме нагружения, которая описана и обоснована выше, выполнялись расчеты, исходя из следующих предпосылок:

– при проведении горной выработки распространение ее влияния на вмещающий массив горных пород происходит постепенно;

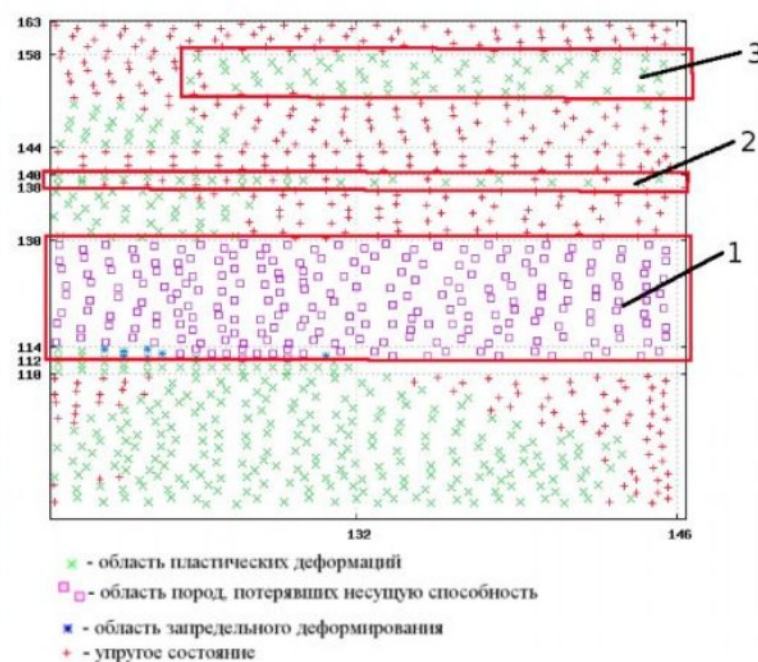
– при таком характере распространения влияния наблюдается последовательное нарастание прогиба слоев от контура горной выработки к земной поверхности.

Исходя из этих предпосылок, было выполнено два расчета: в первом вес столба горных пород, расположенных над кровлей, учитывался не полностью, что обусловлено постепенным расширением области влияния горной выработки и перераспределением полей напряжений в массиве, и второй расчет с полной реализацией веса столба горных пород. Основная цель этих расчетов – определить влияние состояния кровли выработки на распределение напряжений в массиве горных пород и выявить области массива, которые будут оказывать основное влияние на характер распределения сдвижений в мульде на начальных стадиях формирования областей разрушения в массиве в конкретных горно-геологических условиях. Результаты расчетов представлены на рис.2 и 3.

Анализ рис.2 показал, что на начальном этапе перераспределения напряжений и предельном состоянии кровли (область 1 на рис.2) большая часть массива не изменяет своего состояния, наблюдается переход в область пластических деформаций слабых пород, которые залегают непосредственно над кровлей (область 2 на рис. 2).



**Рис. 2. Результаты расчетов по первому этапу**



**Рис. 3. Результаты расчетов по второму этапу**

Анализ рис.3 показал, что обрушение кровли приводит к развитию зоны обрушения в слабых породах (область 1 на рис. 3), пласт известняков переходит из области упругих деформаций в область пластических и начинается его разрушение (область 2 на рис. 3), и последняя характерная особенность - образование области пластических деформаций в слабых породах, залегающих на небольшой глубине от земной поверхности (область 3 на рис. 3). Именно эта область и будет определять характер распределения сдвижений в мульде. Полученные результаты позволяют объяснить высокую скорость нарастания оседаний во времени после принудительных обрушений кровли: слабые горные породы, слагающие разрез, способствуют быстрому распространению областей разрушения в массиве и нарастанию скорости оседа-



## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

ний в очень короткий промежуток времени после обрушения кровли, что и было зафиксировано Авершиным. Следует отметить, что для получения точных границ областей упругих, пластических деформаций и разрушений, необходимо делать более плотное разбиение на элементы.

Ввиду того, что максимальные оседания, которые приведены в [4], составили величину порядка 300 мм, то для составления прогноза максимальная величина оседания на границе области 3 на рис.3 принималась равной 300 мм. Распределение оседаний по контакту слоев горных пород принималось линейным от максимальной величины на правой границе области до нуля на левой. Результаты прогноза и натуральных наблюдений представлены на рис.4.

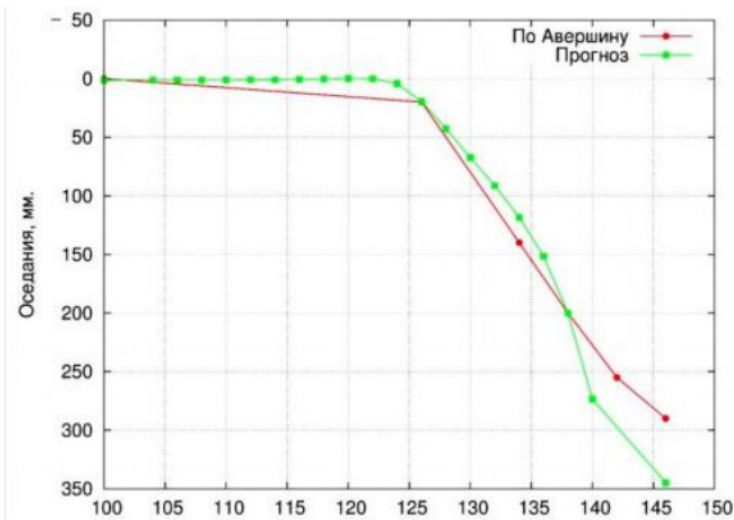


Рис. 4. Прогноз оседаний земной поверхности

### Заключение

В процессе выполнения исследования получены следующие результаты.

1. Разработана новая модель, которая позволяет проследить все этапы разрушения горной породы.
2. Предложен новый методический подход к прогнозу сдвижений земной поверхности для скважинных способов добычи, который позволяет проследить развитие деформационных процессов в массиве горных пород и их влияние на характер деформирования земной поверхности.
3. Основное влияние на характер развития областей разрушения в массиве оказывает состояние кровли в зоне отработки.
4. Результаты прогноза хорошо согласуются с данными натуральных наблюдений, что подтверждает правильность принятого в работе подхода и полученных результатов.

### Литература

1. Грунтоведение / Под редакцией В.Т.Трофимова – М.: Наука, 2005 г.
2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике – М.: Недра, 1987 г.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике – М.: Мир, 1975 г.
4. Авершин С.Г. Сдвигение горных пород – М.: Углетехиздат, 1947 г.

Алексей Евгеньевич Курков, н.с.; Екатерина Николаевна Есина, к.т.н., ст.н.с. (УРАН ИПКОН РАН тел.(495) 360-49-04)

А.В.Гришин, М.К.Логвиненко

## К ВОПРОСУ О ВЗАИМОСВЯЗИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Проведен анализ формул расчета горизонтальных деформаций, приведенных в различных нормативных документах, в зависимости от кривизны. Обозначены принципиальные различия в характерах развития деформаций, по которым получены обозначенные формулы. Показано, что принятая зависимость горизонтальных деформаций от кривизны, зачастую, носит условный характер.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** месторождение; горные работы; трещина; горизонтальные деформации; кривизна; зависимость; нейтральная ось; дискретность.



А.В.Гришин



М.К.Логвиненко

Разработка месторождений полезных ископаемых оказывает воздействие на окружающий массив горных пород и земную поверхность, попадающие в зону влияния

сплошности подрабатываемого массива и возникновении опасных деформаций земной поверхности, вызывающих разрушение расположенных на ней объектов.

Особенно остро эта проблема стоит при освоении калийных месторождений, так как появление критических деформаций в подрабатываемой толще пород, в результате которых образуются трещины в водозащитной толще, приводит к аварийному затоплению рудника. Примером этому могут служить аварии, произошедшие на 1-м и 3-м Березниковских калийных рудниках, приведшие к полному их затоплению и образованию провалов на земной поверхности (рис.1).

горных работ. Зачастую это воздействие носит негативный характер, проявляющийся в нарушении

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ



Рис.1. Провалы, образовавшиеся над горными выработками в городе Березники Пермского края

Для своевременного выявления опасных деформационных процессов при разработке месторождений полезных ископаемых организуют геомеханический мониторинг. Под геомеханическим мониторингом при освоении земных недр в данном случае понимается решение задач организации инструментального контроля за деформированием вмещающих пород и земной поверхности. Основной целью геомеханического мониторинга является своевременное обнаружение признаков, предшествующих возникновению аварийных ситуаций, и обеспечение возможности эффективного проведения профилактических или защитных мероприятий.

Для определения полного вектора сдвижения точек земной поверхности, попадающей в зону влияния горных работ, инструментальные наблюдения, как правило, включают в себя измерения вертикальных и горизонтальных смещений деформационных реперов, заложенных на этой поверхности.

В практике горного дела часто ограничиваются проведением инструментальных наблюдений только за вертикальным смещением деформационных реперов путем производства нивелирования, а горизонтальную составляющую вычисляют через установленные зависимости.

Так в «Указаниях по защите рудников от затопления и охране обрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей» 2008 г. горизонтальные деформации предлагается определять по следующей зависимости [1]:

$$\varepsilon(z) = m_e K(z) L, \quad (1)$$

где  $m_e$  – коэффициент перехода от кривизны к горизонтальным деформациям, при расчете по приведенным в Указаниях формулам получается  $m_e=0,075$ ;  $L$  – длина полумульды сдвижения.

Таким образом, горизонтальные деформации можно рассчитать по следующей зависимости:

$$\varepsilon = 0,075KL. \quad (2)$$

В то же время, в Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях горизонтальные деформации выражаются через кривизну по следующей зависимости [2]:

$$\varepsilon = 0,15KL. \quad (3)$$



Приведенные формулы (2) и (3) получены эмпирическим путем, по данным инструментальных наблюдений, проводимых на Верхнекамском месторождении калийных солей и угольных шахтах России и Украины соответственно. Различие получаемых значений по данным формулам в два раза может объясняться тем, что в первом случае инструментальные наблюдения проводились в условиях плавного развития деформаций, без образования трещин в обрабатываемых слоях, а во втором случае инструментальные наблюдения проводились преимущественно при деформациях, вызывающих нарушение сплошности в обрабатываемом массиве, т.е. при дискретном характере развития деформаций.

Другими словами, до появления трещин процесс деформирования развивается, в основном, по законам механики упругих тел, а после возникновения трещин начинают проявляться черты дискретного характера развития деформаций. Чем глубже прорастают эти трещины, тем отчетливее проявляются эти черты [3].

Стадии и механизм деформирования прогибающегося слоя можно представить следующим образом. Когда какой-то участок горного массива мощностью  $h$  начинает прогибаться под действием горных работ, его нейтральная ось (ось нулевых горизонтальных деформаций) проходит по центру рассматриваемого слоя. При небольших прогибах она повторяет его геометрические формы, и ее местоположение внутри деформируемого слоя остается неизменным и в любом вертикальном сечении составляет  $0,5h$ , что соответствует упругому деформированию (рис.2).

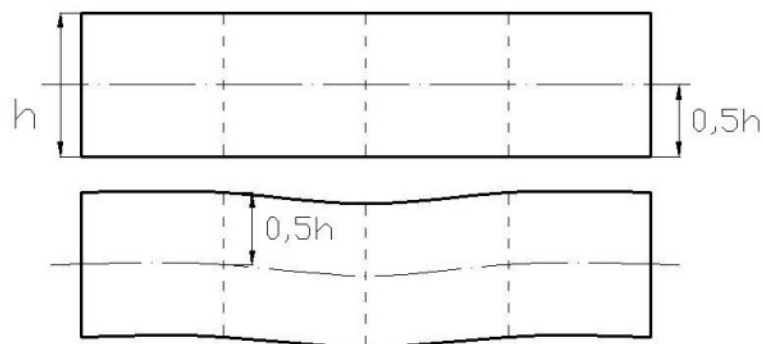


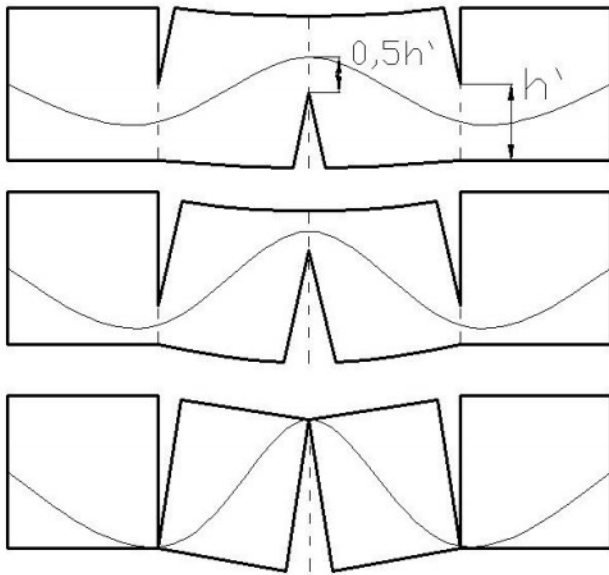
Рис.2. Местоположение нейтральной оси при плавном развитии деформаций

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

С увеличением прогиба растут кривизна и, соответственно, горизонтальные деформации и при определенных условиях достигают критических значений, при которых в слое пород появляются секущие трещины. Их положение соответствует точкам максимальной кривизны.

Принято считать, что местоположение нейтральной оси является постоянной величиной, равной половине мощности деформируемого слоя. Это утверждение справедливо для случаев, когда деформирование массива происходит без потери сплошности.

При появлении в подрабатываемом слое трещин развитие в нем деформаций начинает приобретать дискретный характер. Отличительной особенностью дискретного характера деформирования является то, что с прорастанием трещины вглубь массива будет происходить отклонение нейтральной оси от середины слоя на величину, равную половине мощности слоя, не подвергшегося разрывному нарушению  $h'$  (рис.3). Это происходит из-за того, что часть слоя  $h'$  деформируется как при упругом деформировании (без нарушения целостности). При дальнейшем увеличении глубины трещины величина  $h'$  будет уменьшаться и, соответственно, будет сильнее отклонение нейтральной оси от середины слоя, а при прорастании трещины на всю мощность слоя нейтральная ось будет находиться на контакте слоев.



**Рис.3. Изменение местоположения нейтральной оси в зависимости от величины прорастания трещин в подрабатываемом слое**

Из изложенного следует, что формула (2) справедлива только для условий плавного деформирования подрабатываемого массива, без образования в нем техногенных трещин. Формула (3) характеризует условия, когда слой полностью рассечен трещинами, т.е. массив имеет блочную структуру. Поэтому величину горизонтальной деформации через кривизну

следует определять методом последовательного приближения, т.е. в несколько этапов. На первом этапе определяется положение нейтральной оси в зависимости от глубины образующейся трещины, на втором этапе – величина горизонтальных деформаций с учетом положения нейтральной оси по формуле:

$$\varepsilon = \lambda \cdot K \cdot L,$$

где  $K$  – кривизна;  $L$  – длина полумульды

Коэффициент  $\lambda$  вычисляется из выражения:

$$\lambda = 0,075\varepsilon/\varepsilon_{кр},$$

где  $\varepsilon$  – величина горизонтальных деформаций, вычисленная при  $\lambda=0,075$ ;  $\varepsilon_{кр}$  – величина горизонтальных деформаций, при которой массив горных пород теряет сплошность и в нем появляются секущие трещины.

В тех случаях, когда  $\lambda$  получается менее 0,075, принимается  $\lambda=0,075$ , когда более 0,15 –  $\lambda=0,15$ .

Одновременно следует отметить, что принятая зависимость горизонтальных деформаций от кривизны имеет весьма условный характер, поскольку в ней не учитывается степень сглаживания неравномерностей оседаний и горизонтальных сдвижений теоретическими кривыми. Чем больше глубина горных работ и, следовательно, размеры полумульды  $L$ , тем больше сказывается это сглаживание. Так при небольших глубинах разработки установлено, что кривизне  $0,2 \cdot 10^{-3}$  1/м соответствует горизонтальная деформация  $\varepsilon=2 \cdot 10^{-3}$ . По этим критериям определены значения углов сдвижения во всех горнодобывающих регионах. В этом случае отношение  $\varepsilon/K=10$ . С увеличением глубины разработки и размеров полумульды это соотношение сильно возрастает. Для условий Верхнекамского месторождения оно будет больше 50, для Старобинского – больше 90, а для Гремячинского превышает 100.

Следовательно, принятую на некоторых месторождениях практику определения горизонтальных деформаций через кривизну необходимо менять и определять их путем непосредственных измерений до тех пор, пока не будет достаточно установлено влияние дискретности деформаций на взаимосвязь вертикальных и горизонтальных деформаций.

### Литература

1. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей // СПб., 2008. – 98 с. Утверждено: ОАО Уралкалий, ОАО Сильвенит, согласовано Ростехнадзором, 2008 г.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – СПб., 1998. – 291 с. Согласованы Министерством топлива и энергетики РФ и утверждены Госгортехнадзором в 1998 г.
3. Гришин А.В. Особенности измерения деформаций при дискретном характере их развития // Маркшейдерский вестник. – 2007. – № 2. – С. 43-45

Александр Викторович Гришин, к.т.н., ст.н.с. УРАН ИПКОН РАН, тел. (495) 360-49-04;  
Михаил Константинович Логвиненко, начальник отдела горнотехнического надзора МТУ Ростехнадзора





Республика Казахстан,  
город Алматы,  
пр. Достык 132, офис 2

телефон: +7 (727) 298-08-31  
факс: +7 (727) 298-08-39

e-mail: [info@gornoburo.kz](mailto:info@gornoburo.kz)  
web-site: [www.gornoburo.kz](http://www.gornoburo.kz)

## ТОО «Горное бюро»

основано в 1999 году и уже более 10 лет успешно работает в горнодобывающей отрасли.

Мы предлагаем широкий спектр услуг в сфере освоения месторождений полезных ископаемых:

- проведение геологоразведочных работ, составление проекта кондиций, подсчет запасов руд и металлов;
- научно-исследовательские и проектные работы в области горного дела, обогащения и металлургии;
- разработка бизнес планов, технико-экономических обоснований и технологических регламентов;
- проведение строительно-монтажных работ, пуск и наладка производства;
- комплектация оборудованием и материалами.

### Реализованные проекты:

Добыча и переработка руды на железорудном месторождении Бапы в Карагандинской области Республики Казахстан с получением товарного концентрата с содержанием Fe 54% и 63%.

Разведка железных руд месторождения Масальское в Акмолинской области Республики Казахстан и ряда других месторождений.

Производство титанового концентрата на базе Сатпаевского месторождения ильменитовых песков.

Совместно с ФУГП «ГИНЦВЕТМЕТ» (г. Москва, Россия) спроектирована и построена полупромышленная установка гидрохлорирования для переработки окисленных никель-кобальтовых руд Кемпирсайского рудного поля.

[www.gornoburo.kz](http://www.gornoburo.kz)



месторождение Бапы



В.И.Ляшенко, Ф.Ф.Топольний, Т.С.Лисова

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА\*

Приведены основные научные и практические результаты, полученные при разработке и внедрении природоохранных технологий уранового производства в Украине. Изложенные мероприятия направлены на снижение уровня загрязнения природными и техногенными усиленными источниками ионизирующего излучения. Дана оценка влияния техногенных факторов уранодобывающей промышленности на окружающую среду. Имеет практический интерес для специалистов горно-металлургической и урановой промышленности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** урановое производство; экологическая безопасность; загрязнение; природоохранные мероприятия.

\* Главные научные и практические результаты исследований получены во время исполнения научно-исследовательской работы (научный руководитель – В.И.Ляшенко): «Исследование и разработка способов пылеподавления при транспортировке, складировании, хранении полезных ископаемых и отходов добычи и переработки руд на объектах урановой промышленности» (№ Гос. регистрации 0102U003095). Работа исполнена при поддержке В.М.Пухальского, О.Е.Пицьика, М.М.Ковтуна (ГП «Вост ГОКа»), Б.В.Карпенка, В.М.Зельниченка, О.А.Ткаченка, В.З.Дятчина, А.Г.Скотаренка (ГП «УкрНИПРИпромтехнології») и других.

**Актуальность проблемы.** Урановая промышленность Украины сосредоточена, в основном, в Днепропетровской и Кировоградской областях и представлена тремя действующими шахтами ГП «Вост ГОКа» («Ингульская», «Смолинская» и «Ново-константиновская»). В частности, г.Кировоград, как и вся область, расположен на Украинском кристаллическом щите, геохимический состав которого по всему массиву имеет повышенное содержание природных радионуклидов уран-радиевого и ториевого рядов, представляющих промышленный интерес. Ведение технологического процесса негативно влияет на окружающую среду, создавая неблагоприятную экологическую обстановку. Поэтому экологическая безопасность уранового производства с учетом снижения его влияния на окружающую среду имеет важное народнохозяйственное и социальное значение, требующее неотложного решения [1-4].

**Цель исследования** - повышение экологической безопасности уранового производства и обеспечение охраны окружающей среды на основе научного обоснования и разработки профилактических мероприятий по минимизации отрицательных последствий для здоровья населения и рабочих уранодобывающей и металлургической промышленности с учетом радиационного фактора.

**Задачи исследования:**

- выполнить дозиметрическое обследование отвалов уранодобывающей промышленности и прилегающей территории;
- дать оценку влияния объектов добычи и переработки урана на содержание радионуклидов в почвах, поверхностных водах, донных отложениях, водных растениях и рыбе водохранилища;
- разработать мероприятия по снижению радиоактивного загрязнения окружающей среды.

**Методы исследования.** Для достижения поставленной в работе цели были использованы радиометрические методы (измерение экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучений и интенсивности  $\gamma$ -излучений, измерения радиоактивности  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучения, измерение мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения, опреде-

ление мощности поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения в воздухе, анализ ПРН); статистический и математический методы исследований с использованием комплексного системного подходов.

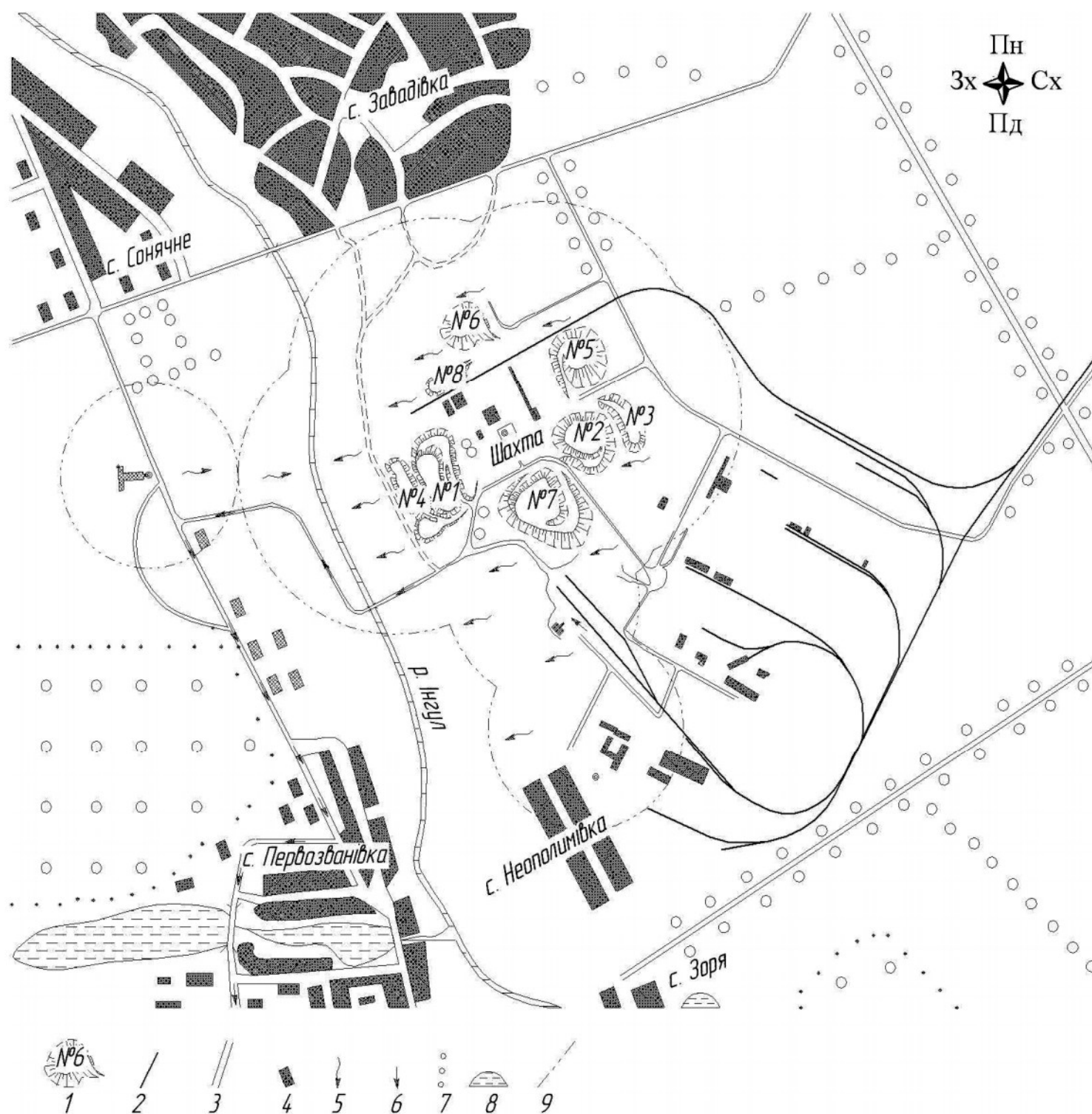
**Результаты и их обсуждение.** Отвалы уранодобывающей промышленности. Горнодобывающая промышленность во время извлечения твердых полезных ископаемых из недр земли вызывает изменения в окружающей среде, что определяется двумя факторами: нарушением поверхности над отработанными площадями месторождения и формированием в районе горнодобычи породных отвалов и отвалов забалансовых руд. Особенностью отвалов уранодобывающей промышленности является наличие в них остатков долгоживущих природных радионуклидов (остатков урана-238 с долгоживущими изотопами радия-226, тория-230), которые опасны для окружающей среды и человека, а также создают дополнительный радиационный источник для окружающей среды и повышают уровень природного радиационного фона.

Шахта «Ингульская» ГП «Вост ГОКа» обрабатывает, начиная с 1967 г., Мичуринское и Центральное месторождения. На протяжении этих лет на территории шахты образовались восемь отвалов (рис. 1), из которых шесть отвалов - пустой породы (отвалы №1, 2, 3, 4, 5, 7) и два отвала - забалансовой руды (№6 и 8), где накоплено около 7 млн. тонн отвальной породы. Общая площадь, занятая отвалами пустых и забалансовых руд, составляет более 260 тыс. м<sup>2</sup> (26 га). Промплощадка указанной шахты расположена в 4-х км от областного центра г.Кировограда в юго-восточном направлении, т.е. на окраине города. Вокруг промплощадки отведена санитарно-защитная зона (СЗЗ). За ее пределами находятся относительно сторон света: на севере - Завадовка, на востоке - сельскохозяйственные угодья, на юге - село Неопалимовка, в юго-западной стороне - село Первозвановка, на западе - поселок Кизельгур и в северо-западном направлении - Солнечный. Негативное влияние, которое создают отвалы, обусловлено процессом ветрового разноса радиоактивной пыли с поверхности отвалов. Согласно исследованиям Шум-

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

лявського В.О., Субботина А.Г. и др. уран, содержащийся в отвалах, накапливается преимущественно в пылевых фракциях, где его содержание практически одинаково с содержанием урана в добытой урановой руде, которая уже подготовлена к отправке на гидрометаллургический завод в город Желтые Воды. Высота отвалов достигает приблизительно 15-25 м, они являются непокрытыми защитным слоем и расположены, в основном, на открытой местности. Местонахождение отвалов пустых и забалансовых по содержанию урана пород создает негативное влияние на гидрологическую систему данной местности, а имен-

но на бассейн реки Ингул, протекающей в 150-200 м от территории местонахождения отвалов. Рельеф данной местности изменяется от абсолютной отметки +140 м до +100 м в сторону русла реки Ингул, что создает возможность образования поверхностного стока обогащенных природными радионуклидами атмосферных и талых вод, инфильтрованных через отвалы, а также от автомобильных дорог и рельефа данной местности. Происходит загрязнение почвы под отвалами и возможно поступление природных радионуклидов в грунтовые воды, как следствие выщелачивания радионуклидов атмосферными осадками.



**Рис.1. Ингульская шахта ГП Вост ГОКа (схема прилегающей территории)**

1 – отвал и его номер; 2 – железная дорога; 3 – асфальтная дорога; 4 – здания, кварталы; 5 – направление стока поверхностных вод р. Ингул; 6 – направление движения автотранспортных перевозок; 7 – растительные насаждения; 8 – водоёмы; 9 – санитарно-защитная зона

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

К территории шахты подведена железная дорога, по которой в вагонах вывозится добытая урановая руда на дальнейшую переработку на гидрометаллургический завод в г.Желтые Воды. Через территорию шахты пролегают автодороги, по которым осуществляются перевозки для хозяйственных нужд шахтной службы. Техногенно-усиленное поступление естественных радионуклидов в окружающую среду вследствие ведения горных работ по добыче урановой руды вызывает перераспределение радионуклидов в биосфере и их вовлечение в круговорот веществ в окружающей среде, вследствие чего происходит дополнительное усиление естественного радиационного фона.

**Дозиметрическое обследование отвалов и прилегающей территории.** С целью выяснения радиационной ситуации и выявления радиоактивного загрязнения на территории объектов исследований был проведен комплекс дозиметрических исследований по измерению мощности эквивалентной дозы. Дозиметрическое обследование осуществлялось при помощи прибора дозиметра-радиометра гамма-бета-излучений поисковый МКС-07 "ПОИСК" (разработчик и производитель фирма ОАО GmbH «Позитрон» г.Желтые Воды, Украина). Измерение эквивалентной дозы излучения (далее МЭД) выполняется для оценки радиационной опасности и вредных эффектов биологического действия ионизирующего излучения при хроническом облучении человека, а также для оценки поля ионизирующих излучений свободного состава. Единицей измерения эквивалентной дозы в СИ является зиверт (Зв). Мощностью эквивалентной дозы является скорость накопления дозы на единицу времени. Дозиметр измеряет МЭД в единицах мкЗв/час.

Для сравнительного анализа был выполнен контрольный замер МЭД, который определялся в 20 км в юго-западном направлении от уранодобывающей ре-

гиона, при отсутствии источников радиоактивности, в природной местности. Значение МЭД, в среднем, составляет 0,07-0,16 мкЗв/час, что несколько превышает допустимый уровень. Допустимый уровень воздействия радиации на население составляет 1 мЗв/год согласно нормам радиационной безопасности (НРБУ-97). При переводе из единиц мЗв/год в единицы мкЗв/час, получаем  $1 \text{ мЗв/год} = 0,12 \text{ мкЗв/час}$ . Дозиметрическое обследование у отвалов пустой и бедной пород проводилось по периметру каждого отвала на дневной поверхности у его основания на расстоянии 2-3 м от отвала. По результатам полученных данных проведен анализ и определены максимальные, средние и минимальные значения МЭД (табл.1). Установлено, что минимальные значения МЭД (кроме отвала №3) превышают допустимый уровень, что свидетельствует о радиоактивном загрязнении территории у подножия отвалов и невозможность использования данной территории в других народнохозяйственных целях. Кроме того, есть опасность разноса радиоактивной пыли от отвалов природными (ветром, дождевыми и талыми водами) и техногенными (автотранспортом) факторами. Для подтверждения вышеуказанных аргументов было проведено дозиметрическое обследование берега реки Ингул, границы СЗЗ с прилегающими территориями, дороги по маршруту автотранспортных перевозок и наиболее близко расположенного населенного пункта. Для выявления радиоактивного загрязнения поверхностным стоком инфильтрированной через отвал дождевой и талой воды с содержанием ПРН было проведено дозиметрическое исследование берега реки. Измерение МЭД проводилось по левому берегу на расстоянии 1-2 м от реки, вниз по течению. Исследованию подлежала та часть реки, которая протекала по территории СЗЗ шахты Ингульская.

Таблица 1

**МЭД возле отвалов Ингульской шахты ГП Вост ГОКа**

| Номер отвала | Площадь основы отвала, м <sup>2</sup> | Объем, тыс. м <sup>3</sup> | Значения МЭД, мкЗв/час |         |             |
|--------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------|---------|-------------|
|              |                                       |                            | Максимальное           | Среднее | Минимальное |
| 1            | 23688                                 | 315                        | 4,7                    | 1,05    | 0,13        |
| 2            | 26324                                 | 448                        | 3,87                   | 1,12    | 0,17        |
| 3            | 15525                                 | 160                        | 4,16                   | 0,66    | 0,11        |
| 4            | 16715                                 | 132                        | 10,83                  | 0,93    | 0,2         |
| 5            | 19283                                 | 410                        | 12,53                  | 1,26    | 0,19        |
| 6            | 15341                                 | 250                        | 2,16                   | 0,94    | 0,15        |
| 7            | 40513                                 | 600                        | 11,00                  | 1,04    | 0,21        |
| 8            | 1540                                  | 250                        | 6,99                   | 1,08    | 0,29        |

В ходе проведения исследования и на основе полученных результатов часть берега реки, подлежащую исследованию, можно разделить на три участка. На первом участке не наблюдается поверхностного стока от территории отвалов, и среднее значение МЭД составляет 0,12 мкЗв/час, что полностью соответствует допустимому и контрольному уровням. На участке, где наблюдается поверхностный сток

(второй участок), радиационный фон в среднем составляет 0,3 мкЗв/час и доходит до уровня от 1,07 до 1,59 мкЗв/час, в некоторых местах, что в 8-13 раз превышает допустимый и контрольный уровни. От отвалов №1, 4 в сторону реки рельеф изначально имеет уклон и примерно в 50 м от русла реки приобретает равнинный характер. На данном равнинном участке наблюдается накопление и задержание воды,

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

о чем свидетельствует наличие постоянно растущего камыша, хотя в целях предотвращения водной эрозии около отвалов №1, 4, так как они ближе расположены к реке Ингул, созданы земляные насыпи высотой 1-2 м согласно «Санитарным правилам эксплуатации урановых рудников» (п.7.5.5.). Нами было сделано дополнительное исследование данного участка, в ходе чего были получены следующие значения МЭД: среднее - 1,16 мкЗв/час, максимальное - 3,14 мкЗв/час и минимальное - 0,32 мкЗв/час. Данные значения, в среднем, в 10 раз превышают допустимый и контрольный уровни. Вода из данного участка тонкой струйкой стекает к реке. На третьем участке, который характеризуется тем, что на берегу реки находится ил, который, в свою очередь, был разбросан по берегу при ведении очистных работ дна русла реки, средние значения МЭД составляют 0,15 мкЗв/час, максимальные - 0,22 мкЗв/час. Объяснением этого может быть то, что в иле содержатся частички радиоактивных элементов, так как данный участок находится ниже по течению (150-200 м) места сброса шахтных вод и места поверхностного стока.

На границе СЗЗ шахты с прилегающими территориями определение МЭД проводилось по периметру. Полученные данные были наложены на карту-схему с учетом сторон света и определены средние значения МЭД по этим направлениям. Анализ полученных данных показал, что на границе СЗЗ с прилегающими территориями значения МЭД находятся в пределах 0,08-0,15 мкЗв/час, что соответствует значению контрольного уровня. В южном направлении значения МЭД колеблются от 0,12 до 0,25 мкЗв/час. В целом, значения МЭД на границе СЗЗ находятся в пределах допустимого и приравниваются к контрольному уровню.

Для технологических нужд шахты, к промплощадке автотранспортом (автомобилями КраЗ) доставляется песок, добываемый в карьере. Маршрут перевозки пролегает через населенные пункты (п.Кизельгур и с.Первозвановка). Поскольку накопление ПРН характерно в пылевой фракции, то возникает проблема возможного разнесения радиоактивной пыли колесами автотранспорта. Исследования по определению МЭД проводились вдоль автодороги по маршруту перевозки песка, начиная от выезда за пределы СЗЗ шахты. По результатам полученных данных МЭД, которые определялись с обеих сторон от автодороги, можно сказать, что наибольшие значения встречались у самой дороги, на расстоянии 5 м и на расстоянии, начиная с 15 м и до 30-40 м. Данные значения колеблются в пределах, в среднем, 0,12-0,46 мкЗв/час и свидетельствуют о том, что пыль задерживается у обочины автодороги и переносится ветром или, скорее всего, потоком воздуха от проезжающего автотранспорта. Наибольшие значения МЭД (0,1-0,46 мкЗв/час) наблюдались на дороге при выезде с территории СЗЗ шахты и, следуя по маршруту транспортных перевозок, наименьшие значения (0,07-0,17 мкЗв/час), соответствующие значениям

контрольного уровня, наблюдались за пределами с.Первозвановка.

Среди прилегающих к территории шахты Ингульская населенных пунктов есть село Неопалимовка, относящееся к Первозвановскому сельскому совету Кировоградского района. Деревня состоит из одной улицы (ул. Чапаева). Ближайшее расстояние от земельного надела до территории шахты (пределы промплощадки ствола "Южный", по которому происходит спуск и подъем рабочих шахты и подача свежего воздуха под землю) - 40 м. Три дома села расположены в пределах отведенной СЗЗ шахты. Автодорога, проходящая по улице, соединяется с автодорогами шахты, что может служить причиной дополнительного разноса радиоактивной пыли от промплощадки шахты в населенный пункт.

Дозиметрическое исследование было проведено по улице Чапаева с.Неопалимовка возле каждого двора и огородов, в ходе ведения которого было выявлено следующее. При проведении исследований по улице возле дворов значения МЭД колебались от 0,07 до 0,24 мкЗв/час и в среднем составили 0,14 мкЗв/час. При проведении исследований у огородных участков был обнаружен аномальный участок с большим гамма-излучающим фоном. Значение МЭД достигали значений 390,4 мкЗв/час, что в 3000 раз превышает допустимый уровень, минимальное значение - 1,94 мкЗв/час, в среднем данный участок излучает 43,4 мкЗв/час, что в 360 раз превышает допустимый уровень. Данный участок находится на расстоянии 40 м от ближайшего дома и на расстоянии 10 м от ближайшего огорода. При исследовании других участков возле огородов с. Неопалимовка значения МЭД колебались от 0,12 до 0,4 мкЗв/час и в среднем составили 0,19 мкЗв/час. Анализ полученных результатов по дозиметрическому обследованию отдельных частей территории Ингульской шахты и ее окрестностей позволил построить пространственную картину радиационного фона по средним значениям мощности эквивалентной дозы на территории Ингульской шахты и за ее пределами (рис.2).

**Влияние объектов добычи на содержание радионуклидов в почвах уранодобывающего региона.** Исследования почвы уранодобывающего региона проводились на близкорасположенных к территории горного отвода Ингульской шахты ГП "Вост ГОК" сельскохозяйственных угодьях, на трех полях (поле №1, №2, №3). Исследование проводилось по следующим изотопам: радия-226 ( $Ra^{226}$ ), тория-232 ( $Th^{232}$ ), калия-40 ( $K^{40}$ ), а также величине эффективной удельной активности природных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ), определяемой по известной формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_K, \quad (1)$$

где 1,31 и 0,085 - сужающие коэффициенты для тория-232 и калия-40 соответственно в отношении радия-226 [5].





- 0,15 мкЗв/год;      — 0,50 мкЗв/год;      — 0,75 мкЗв/год;
- 1,25 мкЗв/год;      — 1,00 мкЗв/год;      — 0,12 мкЗв/год, допустимый уровень;
- значения дозы в среднем 40 мкЗв/год

**Рис. 2. Средние значения мощности эквивалентной дозы на территории Ингульской шахты ГП Вост ГОКа и за её границами**

Пробы почвы отбирали и исследовали осенью 2007 г. Поскольку через близкорасположенные к территории горного отвода Ингульской шахты сельскохозяйственные угодья проходит железнодорожный путь, по которому осуществляется вывоз урановой руды с территории шахты в г.Желтые Воды на дальнейшую переработку, а также ветрового разноса радиоактивной пыли с поверхностей отвалов пустых и забалансовых по содержанию урана пород, что является одним из основных источников поступления радионуклидов в окружающую среду, в том числе и в почву, содействующим фактором данного может служить отсутствие защиты полей лесополосой со стороны территории Ингульской шахты. В табл.2 приведены данные по содержанию природных радионуклидов в почвах близкорасположенных к территории горного отвода Ингульской шахты сельскохозяйственных угодьях на участках ближе расположенных (1), на расстоянии (2) и еще дальше (3) от территории Ингульской шахты. По сравнению с контрольными значениями, которые были отобраны за пределами зоны влияния уранодобывающего региона, видно, что содержание радионуклидов в почвах превышает уровень этих значений ( $K^{40}$  - на 2,4%,  $Ra^{226}$  - на 37,5%,  $Th^{232}$  - на 31,5 %,  $A_{эфф}$  - на 20,6%).

Таблица 2

**Содержание радионуклидов в почвах горного отвода Ингульской шахты ГП Вост ГОКа**

| Номер поля           | Площадки отбора проб | Содержание ПРН, Бк/кг |                      |                      |             |
|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
|                      |                      | Калий ( $K^{40}$ )    | Радий ( $Ra^{226}$ ) | Торий ( $Th^{232}$ ) | $A_{эфф}$ . |
| 1                    | 1                    | 498                   | 17                   | 64                   | 143         |
|                      | 2                    | 487                   | 18                   | 59                   | 137         |
|                      | 3                    | 515                   | 19                   | 61                   | 143         |
| 2                    | 1                    | 569                   | 25                   | 42                   | 128         |
|                      | 2                    | 508                   | 13                   | 58                   | 132         |
|                      | 3                    | 597                   | 16                   | 39                   | 118         |
| 3                    | 1                    | 446                   | 12                   | 56                   | 123         |
|                      | 2                    | 442                   | 13                   | 51,5                 | 118         |
|                      | 3                    | 450                   | 14,5                 | 57                   | 127,5       |
| Контрольное значение |                      | 487                   | 10                   | 37                   | 100         |

**Влияние объектов добычи и переработки урана на содержание радионуклидов в поверхностных водах региона.** (Работа выполнена под научным руководством д.б.н. А.И.Дворецкого при участии Д.И.Балачук, Г.С.Белоконь, А.В.Дятчина и других). Исследование поверхностных вод р.Желтая и р.Ин-

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

гулец проводилось по следующим изотопам:  $U_{\text{прир.}}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ , а также суммарной  $\alpha$ -активности. Содержание  $U_{\text{прир.}}$  определяли в  $\text{мг/дм}^3$ , а суммарную  $\alpha$ -активность,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  - в Бк/л. Пробы воды отбирали и исследовали весной 2005 г. Поскольку сток хвостохранилища «Р» является основным источником поступления радионуклидов в р.Желтая, представляло интерес исследовать их миграцию в следующем звене речной системы. По сравнению с контрольными значениями для мест, расположенных за пределами зоны действия, видно, что содержание радионуклидов в воде превышает уровень этих значений ( $U_{\text{прир.}}$  - на 11%,  $^{226}\text{Ra}$  - на 33%,  $\Sigma\alpha$  - на 94,6%). Содержание  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  если и меняется, то в концентрациях ниже уровня чувствительности прибора. В месте впадения р.Желтая в р.Ингулец (створ 5), по сравнению с отметкой уровня хвостохранилища «Щ» (створ 4),  $\Sigma\alpha$  уменьшилась на 48,4%. Однако содержание  $U_{\text{прир.}}$  и  $^{226}\text{Ra}$ , возможно, в результате поднятия донных отложений, увеличилось на 22,6 и 50% соответственно. Анализируя содержание радионуклидов в р.Ингулец в местах выше (створ 6) и ниже (створ 7) впадения р.Желтой следует заключить, что вода р.Желтой оказывает влияние на содержание в р.Ингулец техногенно усиленных радионуклидов, поскольку содержание  $U_{\text{прир.}}$ ,  $^{210}\text{Po}$  и  $\Sigma\alpha$  увеличилось на 11,8, 86,7 и 94,2% соответственно. Проведенное исследование показало, что концентрации радионуклидов в воде уменьшаются по мере удаления от места сброса.

**Влияние объектов по добыче и переработке урана на содержание радионуклидов в донных отложениях р.Желтая и р.Ингулец.** В водоемах непрерывно образуются разного рода радиоактивные осадки. В зависимости от характера осадочного материала, поступающего в них, их подразделяют на пески, глины, илы, конкреции. Широко распространены осадки, состоящие из смеси этих компонентов. Размер частиц осадков разнообразен - от 0,01 мкм до 1 мм. В процессе формирования осадков возникают определенные физико-химические условия, при которых наблюдается концентрация в них естественных радионуклидов. Так, повышенная концентрация урана в большинстве случаев коррелирует с относительно высоким содержанием в донных отложениях углерода, фосфатов, сульфидов. Основная часть урана в биогенных осадках выделена из воды, и, наоборот, присутствие тория связано с поступлением в водоемы терригенных частиц; радий концентрируется из воды, в основном, путем сорбции на глинистых материалах.

Илистые грунты обогащены радионуклидами большей степени, чем песчаные [6]. Поэтому в процессе выполнения данной работы места отбора проб выбирали, ориентируясь на илистые и илисто-песчаные почвы в пределах описанных выше створов. Во многих случаях наибольшие концентрации радионуклидов находятся в поверхностном слое. Это связано, с одной стороны, с неравномерным поступлением радионуклидов во времени, а с другой - с возможным механическим перемешиванием слоев [7]. Донные отложения р.Желтая и р.Ингулец исследовали на содержание следующих изотопов:

$^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ . Результаты исследования занесены в табл.3.

Таблица 3

### Содержание радионуклидов в донных отложениях рек Жёлтая и Ингулец, Бк/кг

| Места отбора | Удельная активность радионуклидов, Бк/кг |                   |                   |                   |                   |                   |
|--------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|              | $^{238}\text{U}$                         | $^{226}\text{Ra}$ | $^{230}\text{Th}$ | $^{210}\text{Pb}$ | $^{210}\text{Po}$ | $^{232}\text{Th}$ |
| р.Жёлтая     |  |                   |                   |                   |                   |                   |
| створ 1      | 51                                       | 39                | 112               | 85                | 74                | 32                |
| створ 2      | 68                                       | 101               | 155               | 73                | 75                | 40                |
| створ 3      | 350                                      | 114               | 430               | 65                | 90                | 60                |
| створ 4      | 340                                      | 119               | 380               | 69                | 75                | 65                |
| створ 5      | 125                                      | 36                | 130               | 28                | 42                | 51                |
| р.Ингулец    |  |                   |                   |                   |                   |                   |
| створ 6      | 42                                       | 17                | 68                | 25                | 25                | 34                |
| створ 7      | 80                                       | 16                | 115               | 26                | 30                | 27                |

Анализируя результаты проведенного исследования, очевидно увеличение содержания основных изотопов ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) в местах ниже сброса вод из хвостохранилища «Р» (на 85,5, 65,8, 46,7% соответственно) и уровня хвостохранилища «Щ» (на 85, 67,3, 50,8% соответственно) относительно контрольного створа (рис.3). В месте впадения р.Желтой в р.Ингулец содержание радионуклидов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в месте воздействия хвостохранилища «Щ» уменьшилось на 63,3, 69,8, 21,6% соответственно. В точке отбора проб на р.Ингулец ниже места впадения р.Желтой (створ 7) содержание радионуклидов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  увеличилось по сравнению с точкой отбора проб на р.Ингулец выше места впадения р.Желтая (створ 6) на 47,5, 40,9, 3,9, 26,7% соответственно, что свидетельствует о наличии влияния вышеуказанных предприятий и в частности р. Желтая на содержание природных радионуклидов в донных отложениях р.Ингулец.

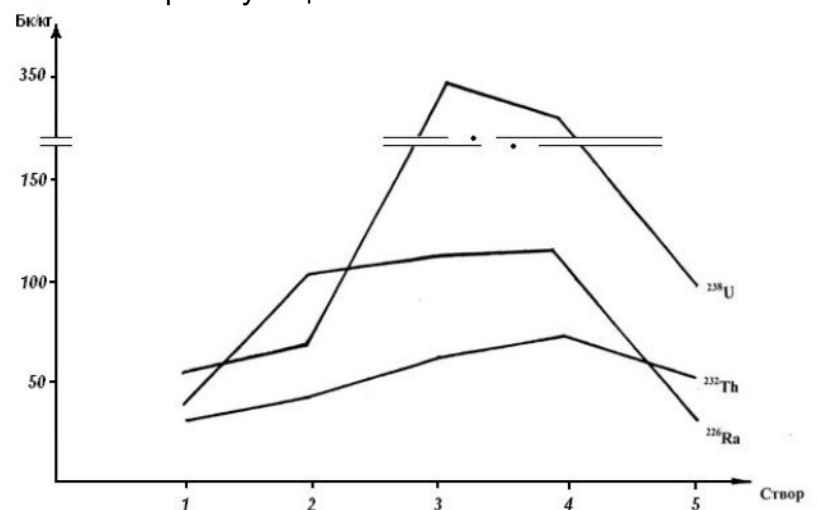


Рис.3. Удельная активность радионуклидов в донных отложениях р.Жёлтая

**Влияние объектов добычи и переработки урана на содержание радионуклидов в водных растениях р. Желтая.** Живые компоненты являются важными составными частями природных экосистем. Накапливая в больших количествах радионуклиды,

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

они перераспределяют миграционные потоки и интенсифицируют процессы очистки воды. Высшие водные растения являются удобными индикаторами радиоактивного загрязнения речных экосистем. Распределение радионуклидов в водных экосистемах в значительной степени определяется особенностями их абиотических и биотических компонентов. Важнейшими являются данные о содержании естественных радионуклидов в простейших водных растениях,

водорослях, поскольку они служат источником питания для рыб. Были проведены исследования на содержание природных радионуклидов в следующих видах растений: рогоз узколистный, рогоз широколистный, нитчатые (у поверхности), нитчатые (у дна), ряска, водоперица, вех. Водные растения исследовались на следующие радионуклиды:  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  (табл. 4).

Таблица 4

**Содержание радионуклидов в водных растениях р. Жёлтая, Бк/кг**

| Вид растения              | Удельная активность радионуклидов, Бк/кг |                   |                 |                   |                  |
|---------------------------|--|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|
|                           | $^{232}\text{Th}$                        | $^{226}\text{Ra}$ | $^{40}\text{K}$ | $^{137}\text{Cs}$ | $^{90}\text{Sr}$ |
| <b>Створ 1</b>            |  |                   |                 |                   |                  |
| Рогоз узколистный         | <9,2                                     | <6,8              | 6610            | <6,2              | <2,2             |
| Рогоз широколистный       | 309                                      | <3,4              | 3890            | <8,5              | <1,9             |
| Нитчатые (на поверхности) | 104                                      | <171              | 1110            | <20,8             | <4Д              |
| Нитчатые (у дна)          | 55,7                                     | <10,7             | 663             | <27,4             | <3,4             |
| Ряска                     | 33,6                                     | <11,2             | 1560            | <24,1             | 4,6              |
| <b>Створ 2</b>            |  |                   |                 |                   |                  |
| Рогоз узколистный         | 582                                      | <43,0             | 1000            | <11,0             | <1Д              |
| Рогоз широколистный       | 1370                                     | <5,2              | 2000            | <7,5              | <1,0             |
| Нитчатые (у дна)          | 68,0                                     | <9,7              | 508             | <19,7             | <3,0             |
| Вех                       | 49,4                                     | 759               | 210             | 87,5              | 5,7              |
| <b>Створ 3</b>            |  |                   |                 |                   |                  |
| Рогоз узколистный         | 275                                      | <4,19             | 529             | <11,2             | <1,4             |
| Рогоз широколистный       | 117                                      | <16,4             | 212             | <4,37             | <0,9             |
| Водоперица                | 140                                      | 1830              | 1330            | 85,1              | 10,2             |
| <b>Створ 4</b>            |  |                   |                 |                   |                  |
| Рогоз узколистный         | 191                                      | <28               | 3080            | <75               | <2,0             |
| Рогоз широколистный       | 134                                      | <4,2              | 711             | 47,8              | 3,2              |
| Нитчатые (на поверхности) | 117                                      | 728               | 970             | 71,2              | 4,9              |

Самыми представительными видами водных растений в определенных заранее створах оказались рогоз узколистный и рогоз широколистный. Содержание  $^{232}\text{Th}$  в рогозе узколистном и рогозе широколистном в месте сброса вод из хвостохранилища «Р» (створ 2а) превышает содержание этого изотопа по сравнению с контрольным створом (створ 1) на 98,5 и 77,5% соответственно. В точке пробоотбора в уровне с хвостохранилищем «Щ» (створ 4) содержание  $^{232}\text{Th}$  в рогозе узколистном и нитчатых (у поверхности) по сравнению с контрольным створом (створ 1) увеличилось на 97,2 и 11,2% соответственно. Содержание  $^{226}\text{Ra}$  превышает на 74,2 и 44,7% соответственно. В точке пробоотбора в уровень с хвостохранилищем «Щ» (створ 4) содержание  $^{226}\text{Ra}$  в рогозе узколистном, рогозе широколистном и нитчатых (у поверхности) по сравнению с контрольным створом (створ 1) увеличилось на 75,8, 19,1 и 76,6% соответственно. Таким образом, можно сделать вывод, что предприятия по добыче и переработке урановой руды, а именно их «хвосты» (хвостохранилища «Р» и «Щ») оказывают влияние на содержание природных радионуклидов в р.Желтая.

**Влияние объектов добычи и переработки урана на содержание радионуклидов в рыбе Карачуновского водохранилища.** В условиях прогрессирующего радиоактивного загрязнения водоемов

важное значение имеет всестороннее изучение процессов накопления радионуклидов компонентами водоемов. Из пищевых цепочек, по которым радионуклиды мигрируют из водоема в организм человека, важнейшее значение имеет цепочка вода-гидробионты-рыба-человек. Это обусловлено в основном свойствами рыбы накапливать в тканях радионуклиды и широким ее использованием как пищевого продукта.

Основным источником поступления радионуклидов в организм является корм и вода. Известно, что  $^{137}\text{Cs}$ , независимо от пути поступления в организм рыбы, депонируется в мягких тканях, из костей выделяется быстро. Для  $^{90}\text{Sr}$  характерно накопление в костной ткани. Поступления радионуклидов в организм рыб зависит от количества корма и воды, а также от химических особенностей элемента, к которому относится радионуклид. Карачуновское водохранилище расположено ниже по течению р.Ингул, возле г.Кривой Рог, и является для города объектом питьевого и рыбохозяйственного назначения. Поэтому исследования рыбы данного водохранилища на содержание природных радионуклидов - важная актуальная задача, поскольку рыба является пищевым продуктом для человека.

Объектами исследования служили следующие виды рыб: карась, лещ, толстолобик. Содержание ра-

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

дионуклидов определяли отдельно в мышцах, костях и смеси (голова, чешуя, плавники). Исследовали накопление в рыбе следующих радионуклидов:  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ . Радионуклиды были найдены во всех органах, но их содержание значительно отличалось.

Проанализируем содержание  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в мышцах и костях изучаемых видов рыб. Исследование мышц рыб (табл.5) показывает, что содержание  $^{232}\text{Th}$  у леща меньше чем у карася и толстолобика на 64,8% и 36,9% соответственно, а содержание  $^{226}\text{Ra}$  - меньше на 49,2% и 40,7% соответственно. Исследование содержания радионуклидов в мышцах рыб более актуально в связи с тем, что рыба является продуктом питания для человека. По результатам исследований видно, что в костях исследуемых видов рыб содержание  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  примерно одинаково ( $\pm 10\%$ ). Для сравнения приведем результаты исследования [8] накопления естественных радионуклидов в органах рыб (карась, лещ, толстолобик) Днепровского водохранилища. Исследовали следующие органы: мышцы, кости, смесь, на наличие радионуклидов -  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ .

Таблица 5

### Содержание радионуклидов в рыбе Карачуновского водохранилища, Бк/кг

| Вид рыб   | Радионуклиды      | Мышцы | Кости | Смесь* |
|-----------|-------------------|-------|-------|--------|
| Карась    | $^{232}\text{Th}$ | <253  | 206   | 29,1   |
|           | $^{226}\text{Ra}$ | <405  | <446  | <30,1  |
|           | $^{40}\text{K}$   | 2080  | 1060  | 95,7   |
|           | $^{137}\text{Cs}$ | 65,3  | <117  | <7,95  |
|           | $^{90}\text{Sr}$  | 16,5  | <9,8  | <1,3   |
| Лещ       | $^{232}\text{Th}$ | 89,1  | 267   | <56    |
|           | $^{226}\text{Ra}$ | <206  | <412  | <131   |
|           | $^{40}\text{K}$   | 2440  | <1740 | 919    |
|           | $^{137}\text{Cs}$ | <54,2 | <108  | <32,2  |
|           | $^{90}\text{Sr}$  | <3,9  | <8,5  | <4,8   |
| Толстолоб | $^{232}\text{Th}$ | 141   | 299   | 95,8   |
|           | $^{226}\text{Ra}$ | <347  | <588  | <162   |
|           | $^{40}\text{K}$   | 2210  | <2460 | <676   |
|           | $^{137}\text{Cs}$ | <85,3 | <145  | <41,6  |
|           | $^{90}\text{Sr}$  | <7,5  | <12,0 | <4,2   |

\* - голова, шелуха, плавники

Различие в содержании радионуклидов, видимо, связано с характером питания рыб. Исследуемые виды рыб питаются зообентобионтами (карась, лещ) и фитопланктоном (лещ, толстолобик), которые в большей степени накапливают  $^{137}\text{Cs}$ . В результате анализа накопления радионуклидов рыбами Карачуновского и Днепровского водохранилищ можно заключить, что рыбы Днепровского водохранилища содержат в органах большее количество радионуклидов. Возможно, это объясняется влиянием более загрязненной водой р.Днепр.

**Мероприятия по снижению радиоактивного загрязнения окружающей среды.** По результатам исследований, проведенных в районе предприятий по добыче и переработке урановой руды, с целью определения содержания естественных радионуклидов в

водоемах региона установлено наличие радиоактивного загрязнения вокруг отвалов пустых и забалансовых руд, что требует внедрения природоохранных мероприятий. С целью уменьшения переноса радиоактивной пыли в окружающую среду одним из способов обеспечения экологической безопасности окружающей среды в районе воздействия уранодобывающей промышленности является технология биологической сорбции ПРН. Принцип данной технологии заключается в использовании растительности, в частности деревьев и кустарников, свойства которых характеризуются умением задерживать и накапливать в себе ПРН, т.е. выступать как естественный сорбент ПРН (каштан конский обыкновенный, клен ясенелистный, тополь пирамидальный, липа крупнолистная, дуб великопорошный, береза бородавчатая и кусты - сирень обычная, скумпия, спирея Бумальда, жимолость обыкновенная и декоративные растения - роза, ель и др.). Кроме того, крона деревьев выступает непосредственным накопителем пыли, предупреждая ее разнесение дальше, а корни - накопителем и инфильтратом поверхностных сточных вод. Высаживание саженцев деревьев необходимо производить на расстоянии не более 100 м от территории местоположения отвалов пустых и бедных пород, так как именно на данном расстоянии наблюдается максимальный уровень радиоактивного загрязнения окружающей среды в результате пыления с поверхностей отвалов. Для достижения цели эффективной экологической безопасности окружающей среды в районе воздействия уранодобывающей промышленности необходимо провести насаждение деревьями и кустарниками всей специально отведенной территории санитарно-защитной зоны вокруг промплощадки и территории места размещения отвалов пустой и бедной породы уранодобывающего предприятия с учетом территорий производственного процесса. Вдоль транспортных путей (авто- и железнодорожных) от территории промышленной площадки до соединения с транспортными путями общего значения необходимо посадить непродувные лесополосы, используя при этом деревья и кустарники. Территории прилегающих сельскохозяйственных угодий, где уровень радиации превышает допустимые величины, необходимо перевести под посев культур кормового и технического назначения (кукурузу на силос, рапс и др.). В водоемах с возможным превышением ПДК запретить лов рыбы, купание и соответствующие мероприятия. Также необходимо проведение более детального исследования наличия радиоактивного загрязнения в объектах окружающей среды на прилегающих к урановой шахте территориях для определения общей степени радиоактивного загрязнения естественными радионуклидами и степени воздействия на окружающую среду и человека.

### Выводы

1. Установлено, что среди путей разноса ПРН в окружающую среду опасными являются пыление и поверхностный сток инфильтрированных дождевых и талых вод через отвалы, что может служить дополнительным источником радиационного загрязнения вод



## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

бассейна реки Ингул. Разнесение радиоактивной пыли с территории промплощадки шахты автотранспортом не представляет большой угрозы и с удалением от территории шахты достигает контрольных уровней, хотя в городах требуется введение предотвратительных мероприятий. На границе СЗЗ шахты с прилегающими территориями значения мощности эквивалентной дозы колеблются в пределах, которые приближены к естественному фону. Село Неопалимовка, в целом, имеет повышенный радиационный фон, так как ближе всего расположено к территории шахты.

2. В воде р.Желтая найдены естественные радионуклиды, содержание которых в месте сброса промышленных и сточных вод объектов добычи и переработки урановой руды возрастает, а при удалении от промплощадки - уменьшается до контрольных значений. В донных отложениях р.Желтая содержание природных радионуклидов, в месте сброса промышленных и сточных вод объектов добычи и переработки урановой руды, увеличивается, а при удалении от промплощадки - уменьшается до контрольных значений.

3. Содержание естественных радионуклидов в водных растениях в месте сброса промышленных и сточных вод объектов добычи и переработки урановой руды увеличивается, а при удалении от промплощадки - уменьшается до контрольных значений.

4. Рекомендуется использовать материалы по радионуклидному загрязнению воды, донных отложений, водной растительности и рыбы для мониторинговых исследований воздействия предприятий по добыче и переработке урановой руды на содержание радионуклидов в компонентах водоемов региона.

5. Применение ряда мер по снижению радиоактивного загрязнения окружающей среды обуславливает экологический эффект экологической безопасности уранового производства, для реализации чего

рекомендуется обосновать предлагаемые меры и определить наиболее оптимальные действия при достижении экологической безопасности уранового производства.

### Литература

1. "Енергетична стратегія України на період до 2030 року", ухвалена розпорядженням КМУ від 15.03.2006 р. №145-р.
2. Концепция федеральной целевой программы "Развитие атомно-энергетического комплекса России на 2007-2010 годы и на перспективу до 2015 года", затверджена розпорядженням Уряду Російської Федерації від 15.07.06р. №1019-р.
3. Закон України "Про відходи" (від 05.03.1998, №187/98-ВР).
4. Добыча и переработка урановых руд. Монография. Под общей редакцией А.П. Чернова. Киев. «Адеф-Украина». 2001. 238 с.
5. Ляшенко В. И., Люлько О. В., Стусь В. П. Охрана окружающей среды и человека в уранодобывающих регионах: монография. – Днепропетровск: Пороги, 2003. – 642 с.
6. Характеристика радиационного загрязнения в зоне уранодобывающей промышленности и разработка реабилитационных мероприятий / А.И.Дворецкий, В.И.Ляшенко, Е.Г. Егорова и др. // Труды международного симпозиума "Безопасность жизнедеятельности в XXI веке" (29-31 января). - Днепропетровск: Международная Академия Наук экологии и безопасности жизнедеятельности. - 2001. - С. 73-74.
7. Охороні гідросфери-надійне технічне, технологічне та економічне забезпечення / В .І. Ляшенко, О.В.Люлько, А.І.Дворецкий та інші // Медичні перспективи. – 2003. – Т. VIII, № 2. – С. 109-119.
8. Сучасний стан вмісту та накопичення радіонуклідів в рибах Дніпровського водосховища/Д.І.Балачук, Г.С.Білоконь, А.І. Дворецкий та інші// Актуальні проблеми тваринництва: Мат. І (XIV) (XXVI) конф. молодих вчених / ІТ ЦР УААН, ДДАУ, ДНУ. - Дніпропетровськ, 2005. - С 202-208.

Василий Иванович Ляшенко, к.т.н., ст.н.с., тел.+38(05652)290-64 (Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии»); Ф.Ф.Топольний, Т.С.Лисова (Кировоградский национальный технический университет, Украина)

Е.В.Комлева

### ЮККА МАУНТИН, КРАСНОКАМЕНСК И ПЕЧЕНГА

Рассмотрена идея долговременной подземной изоляции ядерных материалов международными усилиями. Представлены российские версии. Отмечена необходимость разработки адекватных юридических, финансовых и экономических механизмов, социокультурных оснований и критериев реализации идеи.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Россия; ядерные отходы; международные хранилища; никель.

США после затрат в 9 млрд.долларов (десятая часть сметы) прекратили строительство подземного национального хранилища твердых (с долгоживущими и высокоактивными изотопами) материалов Юкка Маунтин. Вступило в силу американо-российское Соглашение №123, открывающее странам возможность "обмена" ядерными материалами. Шведы после Фукусимы приостановили свой аналогичный проект хранилища Форсмарк. Следствием закрытия ряда европейских АЭС будет сверхплановый демонтаж станций с наработкой дополнительных отходов. Директива ЕС по обращению с ядерными отходами обязывает

страны-участницы к 2015 г. разработать планы захоронения, ориентирует на подземную изоляцию и благосклонна к возможности экспорта отходов. Практически единодушно на международном уровне независимые эксперты при оценке рисков одним из критериев безопасности атомной отрасли называют количество мест хранения ядерных материалов - чем меньше мест хранения, тем выше уровень безопасности. В Европе идею международной кооперации в этом направлении развивает the Association for Regional and International Underground Storage. Вариант кооперации "на своем поле" быстро возник у финнов. Они

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

не только не приостановили свой проект Онкало, но и переводят его в категорию международных.

России выгоден подземный "ядерный кооператив" на ее территории. Теперь - тем более, так как после Фукусимы ожидаемая зарубежная прибыль от строительства АЭС может устремиться к нулю, а от обслуживания отходов - возрастет. Страна усилит свою роль в контексте ядерного нераспространения, а также диверсифицирует экспансию в сфере энергетики, дополнив углеводородную инфраструктуру финальным звеном ядерного топливного цикла. В начале этого цикла уже все как будто хорошо. Производство свежего топлива для станций мира становится бизнесом России. Смущает одно обстоятельство. Нет внятного объяснения относительно судьбы топлива после его службы в реакторе. Не каждый зарубежный партнер примет предложение, если такое топливо подлежит переработке.

Курс на международные хранилища сформировался давно. Проблему применительно к России совместно исследуют академии наук РФ и США. Начата подготовка законодательной базы, в 2002 и 2005 годах в Москве под эгидой МАГАТЭ прошли международные конференции по этой теме. Появился системный интегратор по обслуживанию зарубежных АЭС - ЗАО "Русатом Сервис" (вице-президент финн Юкка Лааксонен).

Политическая воля к созданию международных ядерных хранилищ обозначена многими странами. Но конкретные юридические, финансовые и экономические механизмы этого ещё предстоит создать. В том числе, и для сбалансирования в России интересов общефедеральных и региона, где объект разместят. Видимо, как аналог будет принята схема реализации соглашения между МАГАТЭ и РФ о первом международном банке свежего топлива. Необходимо также выработать социокультурные (светские и религиозные) основания и критерии таких действий. Например, на базе философского наследия Ф.М. Достоевского и с привлечением идей геоэтики.

Наиболее "продвинутыми" вариантами подземного размещения международных хранилищ в России, традиционно для ядерной отрасли "состыкованными" с наследием "холодной войны", являются площадки вблизи Красноярска, Челябинска и Краснокаменска. Военно-промышленные ядерные колоссы СССР, "породившие" эти площадки, размещались по принципу "дальше от НАТО". Безопасность же геологических (так их еще называют) хранилищ в течение тысяч лет детерминирована изначально качеством породных массивов. В новое время и для новой задачи нужен новый баланс политических, экономических, геологических и других оснований. Заметим, что в Казахстане и Украине планируют подобные объекты на территории, соответственно, Семипалатинского полигона и Чернобыльской зоны.

Альтернативой-дополнением сибирским площадкам является Печенга (Печенгская геологическая структура). Здесь действует аналог ядерных подземных сооружений (рудник "Северный-Глубокий"), предтеча Фукусимы относительно аварийных хранилищ ядерного топлива (инфраструктура Губы Андреева). Существующий геоядерный кластер упростит и уде-

шевит исследования и создание хранилища, поспособствует на базе международной и общефедеральной выгоды экономической и технологической переориентации региона. Он также соответствует междисциплинарному и межотраслевому духу, некоторым позициям указа президента РФ о приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники.

Геологическая документация, каменный материал и во многих случаях доступная натура по Кольской сверхглубокой скважине, десятку открытых и подземных горных выработок, тысячам разведочных скважин наземного и подземного заложения, совместно с собственно наземными исследованиями и глубинным зондированием с земной поверхности открывают единственные для Земли возможности. А именно, - перекрестно разными инструментальными методами, в разных ракурсах и масштабах, надежно изучить планируемую для ядерного хранилища среду.

Не добрые ли это знаки, учитывая, что по преданиям в "утесе из меди" Печенги было создано Сампо "Калевалы"? И не подсказка ли это к объединению здесь усилий при "перезагрузке" на Печенгу финансирования от Юкка Маунтин, Новой Земли и других подобных проектов, не выдержавших испытания временем.

Аргумент против Печенги - добыча никеля. Этот аргумент (как и против Краснокаменска - уран) произведен от рекомендации МАГАТЭ - избегать изоляции ядерных материалов вблизи полезных ископаемых. Для Печенги анализ рекомендации и условий работы "Норильского никеля" приводит к инверсии аргумента. Учитывая и ближайшие 50-100 лет - время отложенного хранения ядерных материалов в наземных хранилищах. После 30-40 лет работ в мире нет подземных объектов рассматриваемого класса. При таких темпах месторождения исчезнут, как руда Мончегорска. Именно Печенга адекватна этой рекомендации. "Приаргунское производственное горно-химическое объединение" (Краснокаменск) может работать при существующих запасах урана 30-35 лет.

Реален международный геоядерный альянс на базе Росатома и Норникеля. Корпорации уже "породнились семьями". Частью атомных дел руководит бывший глава Кольской ГМК Е.В. Романов. Их кооперация компенсирует арктические углеводородные и другие затруднения, а также приведет к формированию самостоятельной высокотехнологичной отрасли. "Норильский никель" может с пользой продать горно-геологическую документацию и реальную инфраструктуру, вынужденно сводя к нулю добычу руды. Или иначе участвовать совместно с Rosatom&Co в новом освоении подземного пространства Печенгской/Стрельцовской структуры. При необходимости альянс и на равноудаленном от западных и восточных поставщиков Таймыре найдет пригодные массивы и/или готовые выработки для хранилища, дополнительно изолированные покровом многолетнемерзлых пород. Удачным сочетанием для любых сценариев будущего ядерной энергетики может быть подземное хранилище вблизи Норильска и уже действующее наземное хранилище Красноярского ГХК.

Романтическое время, когда почти в каждой стране допускалось иметь собственный "ядерно-

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

свечной заводик", закончилось. Не получилось порознь у СССР, Японии и США обойтись без ядерных катастроф. Велик риск террористического инициирования таких катастроф для ряда стран Европы, учитывая их воинственную политику в богатых углеводородами регионах. Безопасность наиболее реализуема при создании международных подземных ядерных хранилищ на стыке стран или в иначе труднодоступной для несанкционированных посещений местности.

И еще. Сейчас на Западе принято выдвигать военные системы к границам России. Пример - ПРО в Европе. Расположение ядерных хранилищ у границ с российской стороны будет фактором доверительного ядерного сдерживания, материальной гарантией неприменения этих систем против России, и поддержит символику "тополой в НАТО" Д. Рогозина дополнением к гарантии, которую юридически пытается получить руководство РФ от иностранных партнеров. Принято также в ЕС стремиться к потреблению электроэнергии российских АЭС. Формируется справедливое мнение, что страны-потребители импортируемого "атомного электричества" должны юридически выравнять стандарты безопасности по обе стороны границы, нести часть бремени решения проблем отработавшего ядерного топлива, радиоактивных отходов и вывода из эксплуатации АЭС стран, производящих такое электричество.

На Мурмане нет месторождений урана. Молодой геолог Н.П.Лаверов их здесь не нашел. Академик Н.П.Лаверов и представители его научной (ИГЕМ, МГИМО) школы могли бы исправить Кольское природно-политическое недоразумение, поспособствовав созданию печенгской техногенной залежи ядерных материалов и методов контроля ее "жизни", в том числе правовых. С другой стороны, "ружье на стене" - хранилище вблизи Красноярска или Челябинска - может "выстрелить" как повод для внешнего "принуждения к миру" в глубинной России.

Площадка "Печенга" расположена у северо-западной, площадка "Краснокаменск" - у юго-восточной границ РФ. С одной стороны потребности Европы, а с другой - Японии, Южной Кореи и Китая. И везде - США, в том числе как поставщика реакторного оборудования и ядерного топлива по всему миру. Концепции Краснокаменска и Печенги "просятся" в единую систему. Аналогично системе портовых комплексов для экспортно-импортной перевалки ядерных материалов - транспортно-логистический комплекс (ТЛК) "Запад" (Усть-Луга) и ТЛК "Восток" на Дальнем Востоке. На Кольском полуострове такую же функцию могут выполнять береговые базы Росатома (Атомфлот и СевРАО). Правда, инициативу по размещению зарубежного отработавшего топлива и высокоактивных отходов у Краснокаменска может перехватить Монголия. А у Печенги - Финляндия.

Не исключено, что конкуренцию или компанию Краснокаменску (как и Семипалатинску) в какой-либо форме может составить и Китай, который создает к 2050 г. вблизи южной границы Монголии, примерно

на равном расстоянии от Семипалатинска и Краснокаменска, национальное (пока) геологическое хранилище Бейшан (Beishan). По крайней мере, осторожные заявления о готовности страны принимать на долговременное хранение зарубежные ядерные материалы уже звучали. Нужно понимать, что Китай в принципиально важных вопросах достойно полностью самостоятелен, до поры закрыт, но отслеживает положение внешних дел. Поэтому надежно оценить планы Китая в направлении международной кооперации для завершающих стадий ядерного топливного цикла сейчас сложно. Возможно, китайские коллеги еще выжидают.

В "остальном мире" только-только и радикально меняется подход: от строгой обязательности национальных хранилищ к интернационализации. То обстоятельство, что одна из потенциальных площадок создаваемой международной системы - Краснокаменск, не должно оставить Китай равнодушным. Как и создаваемая система в целом.

Кроме того, транснациональная полифункциональная система обращения с ядерными материалами уже существует и развивается дальше. И Китай, несмотря на его неторопливость и самостоятельность в стратегических вопросах, уже приобщен к ней, активен в международном сотрудничестве по многим направлениям гражданской ядерной и термоядерной энергетики, использования изотопной продукции. Пока наиболее представлен оборот исходного урана. Это начало ядерного топливного цикла.

Как видим, в рамках общей тенденции просматриваются уже и контуры международной кооперации в сфере завершающих стадий этого цикла. Причем разные страны могут осуществлять одну или несколько функций: поставки, приемки, перевозки, транзита, контроля. И если ключевым становится Краснокаменск, то Китай, даже при создании полностью самодостаточной национальной системы хранения и захоронения собственных ядерных материалов, не может не влиять на систему транснациональную. Дополнительно к обязанности Китая не оставлять без внимания глобальные тенденции также и потому, что транснациональная система должна территориально "привязываться" к инфраструктурам евроазиатского материка, Китай может соучаствовать в ней в той части, которая не ограничивает его национальные интересы, а расширяет их, в контексте и ядерного нераспространения и накопления у себя запасов ценного сырья для технологий редких элементов.

Много надо думать, создавая международный "ядерный погреб".

Благодарю за поддержку отдельных этапов исследований EU Program "Gateway Education", Research Council of Norway, Canon Foundation in Europe, Deutscher Akademischer Austauschdienst и World Nuclear University, профессоров B.Falkenburg, N.Witoszek, D.Macer, V.Masloboev, O.Ivanov. А также - научных сотрудников Института философии и политологии Дортмундского технического университета.

*Елена Владимировна Комлева, сотрудник Института философии и политологии, Технический университет, Дортмунд, Германия*

## ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

### Обзор научно-практической конференции

#### «ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ»

С 27 февраля по 2 марта 2012 г. в г.Тюмени состоялась Научно-практическая конференция «Промышленная безопасность и геолого-маркшейдерское обеспечение работ при добыче углеводородного сырья». В рамках конференции были вручены министерские, ведомственные награды, а также награды Союза маркшейдеров России за большой вклад в маркшейдерское дело, обеспечение рационального использования и охраны недр.



Открытие конференции

Организаторами конференции выступили: Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России» при участии Некоммерческого партнерства «Содействие развитию горной промышленности «Горное дело» и НОЧУ «ЦДО «Горное образование».



Награждение Васильева Ю.В - старшего научного сотрудника, ученого секретаря Западно-Сибирского филиала Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН медалью «290 лет Ростехнадзору»

#### Целью конференции было:

- повышение качества производства горных, геологических, маркшейдерско-геодезических, землеустроительных и кадастровых работ, внедрение научно-технических достижений в области промышленной безопасности и охраны недр, геологии, маркшейдерского дела, геодезии, землеустройства и кадастра при освоении месторождений углеводородного сырья;
- профилактика правонарушений законодательства о промышленной безопасности и о недрах.
- обмен опытом по применению передовых технологий для обеспечения промышленной безопасности, производства горных, геологических, маркшейдерско-геодезических и землеустроительных работ, новейших приборов, оборудования и программного обеспечения;
- обсуждение вопросов профилактики правонарушений специалистами основных инженерных служб нефтегазодобывающих предприятий, особенностей правоприменительной практики по законодательству о промышленной безопасности и о недрах, при оформлении горноотводной документации, рассмотрении проектной документации на разработку месторождений углеводородного сырья и на производство маркшейдерских работ.



Участники конференции

Для участия в конференции были приглашены руководители и специалисты: Северо-Уральского управления Ростехнадзора, нефтегазодобывающих организаций ЯНАО, ХМАО, Тюменской области, научных, проектных и учебных организаций региона.



## ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ



**Грязнов В.Г. к.ф.-м.н. Директор по развитию  
ООО НПАГП «Меридиан+»**

В работе конференции приняло участие около 100 человек, в том числе слушатели курсов повышения квалификации, руководители и ведущие специалисты маркшейдерских и геологических служб горно- и нефтегазодобывающих организаций: ОАО «ТНК-Уват», ОАО «Варьеганнефтегаз», ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», ОАО «ТНК-Нягань», ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз», ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз», ЗАО «Ванкорнефть», ОАО Самаранефтегаз, ООО «ТННЦ», ОАО «Томскнефть», ООО «Компания СОВЗОНД» ВНК и др.

В ходе конференции был заслушан ряд докладов, в том числе: Никифорова С.Э. - консультанта Управления горного надзора Ростехнадзора – «Об опыте надзорной деятельности и нормативного регулирования Ростехнадзора в сфере маркшейдерии», Панасюка А.В. - начальника Межрегионального отдела по горному надзору Северо-Уральского управления Ростехнадзора - «Об особенностях правоприменительной практики при рассмотрении планов развития горных работ и горноотводной документации»,

Киржиманова М.Г. – к.ю.н., заместителя генерального директора по научной деятельности ГП «Цент правовых проблем северных территорий» - «Новое в законодательстве РФ о недрах: текущее состояние и тенденции развития. Практика применения», Кантемирова Ю.И. – ведущего специалиста отдела программного обеспечения компании «Совзонд» - «Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности и сооружений на месторождениях полезных ископаемых», Бембеля Р.М. – д.г.-м.н., профессора Тюменского государственного нефтегазового университета – «Геосолитонная концепция образования углеводородов», Юрьева М.Л. – ведущего инженера ЗСФ ИНГГ СО РАН - «Результат геодинамического мониторинга на Самотлорском месторождении» и др.



**Беляев К.Б. Главный маркшейдер  
ООО «Лукойл - Западная Сибирь»**

В рамках технической экскурсии участники конференции посетили г.Тобольск.

По результатам работы участниками конференции было принято решение.



### РЕШЕНИЕ

#### **Научно-практической конференции «Промышленная безопасность и геолого-маркшейдерское обеспечение работ при добыче углеводородного сырья**

01.03.2012

г.Тюмень

1. Одобрить проводимую Общероссийской общественной организацией «Союз маркшейдеров России» и Некоммерческим партнерством «Содействие развитию горной промышленности «Горное дело» работу по обеспечению промышленной безопасности

при недропользовании и геолого-маркшейдерскому обеспечению работ при добыче углеводородного сырья.

2. Рекомендовать руководству нефтегазодобывающих организаций:

## ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

– предусмотреть в планах работ на 2012 год участие в мероприятиях по реализации Межотраслевой научно-технической программы «Рациональное и безопасное недропользование», включая развитие геоинформационных технологий, разработку корпоративных нормативно-методических документов по использованию прогрессивных технологий;

– обеспечить участие делегатов IX съезда маркшейдеров России в его работе (28.05-02.06.2012 г. Кисловодск), участников российской делегации в работе 34 Международного геологического конгресса, который состоится в городе Брисбен (03-13.08.2012 Австралия);

– принять участие в реализации социально значимых благотворительных программ «Историческая литература - молодежи», «Горные знания - молодежи» в целях создания благоприятного общественного климата для развития горного дела, формирования положительного, социально ответственного образа горных компаний, профессиональной ориентации школьников и патриотического воспитания молодежи.

3. Рекомендовать руководителям геологических и маркшейдерских и иных инженерных служб нефтегазодобывающих организаций обеспечить:

– подготовку предложений по повышению качества маркшейдерских работ для их обсуждения на IX съезде маркшейдеров России;

– организационно-техническую поддержку деятельности кафедр геологии и маркшейдерского дела, иных инженерных кафедр горных вузов, включая их оснащение новейшими приборами и оборудованием, технической литературой, организацию производственных практик студентов, привлечение к выполнению хозяйственных работ;

– подписку предприятий-недропользователей на профессиональные издания - «Маркшейдерский вестник», «Маркшейдерия и недропользование», «Разведка и охрана недр», «Безопасность труда в промышленности» - для обсуждения актуальных проблем в сфере горного производства, доведения до специалистов сведений о новых технологиях, приборах и инструментах;

– моральное поощрение специалистов к дням геолога, маркшейдера, шахтера и нефтяников, внесших значительный вклад в обеспечение рационального и безопасного недропользования, общественными и ведомственными наградами, используя

возможности Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России», Российского геологического общества и НП «СРГП «Горное дело»;

– обмен опытом, повышение квалификации, переподготовку специалистов геологических, маркшейдерских служб, служб промышленной безопасности, иных инженерных служб.

4. Признать новые редакции «Инструкция по оформлению горных отводов для разработки месторождений полезных ископаемых» и «Инструкция по рассмотрению и утверждению планов (программ) развития горных работ» удовлетворяющими нуждам геолого-маркшейдерских и горных работ и обеспечению государственных интересов при недропользовании.

5. Главным маркшейдерам горно- и нефтегазодобывающих организаций организовать подготовку предложений по составлению тестов для реализации раздела Б6 «Требования по маркшейдерскому обеспечению безопасного ведения горных работ» приказа Ростехнадзора от 15.12.2011 г. №714 «О внесении изменений в приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 января 2007 г. №37 «О порядке подготовки и аттестации работников организаций, поднадзорных Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору» и по формированию маркшейдерского раздела в составе проектной документации.

6. Поддержать инициативу горной общественности и НП «СРГП «Горное дело» по совершенствованию регулирования изменения границ горных отводов при подготовке проекта Порядка установления и изменения границ участков недр, предоставленных в пользование с целью сохранения действующего механизма оформления горноотводных актов, позволяющего эффективно решать технические вопросы.

7. В целях предотвращения конфликтных ситуаций с государственными надзорными органами по вопросам самовольного пользования недрами при разработке проектов горных отводов включать в уточненные границы горных отводов стволы скважин от дневной поверхности земли до технологических зумпфов с отображением границ в вертикальных проекциях на геологических разрезах.

8. Поручить Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России» и НП «СРГП «Горное дело»:

– довести настоящее решение до сведения министерств и ведомств природно-ресурсного блока, горно- и нефтегазодобывающих организаций.

## 80 лет Владимиру Степановичу Зимичу



Зимич Владимир Степанович - горный инженер-маркшейдер, родился 27.04.1932 г. в с.Крыва Руда, Полтавской области, Украины.

После окончания Харьковского горного института в 1956 г. работал на шахтах Донбасса в должности участкового и главного маркшейдера. С 1961 по 1997 гг. Зимич В.С. трудился в системе Госгортехнадзора Украины, Госгортехнадзора СССР и Госгортехнадзора России. Начал работу с участкового горно-технического инспектора, затем возглавлял Донецкую областную горно-техническую инспекцию по рудным и нерудным полезным ископаемым, занимал должность заместителя начальника Управления Донецкого округа, а с 1981 г. возглавил Управление по надзору за охраной недр и геолого-маркшейдерскому контролю Госгортехнадзора СССР и Госгортехнадзора России.

В начале 1990-х гг. принял активное участие в организации Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России» и после ее образования в 1995 г. был избран Президентом этой организации, оставаясь в этой должности по настоящее время.

Под руководством Зимича В.С. проведены шесть съездов маркшейдеров России, регулярно

проводятся общероссийские конференции, на которых рассматриваются актуальные вопросы маркшейдерского дела, намечаются меры по решению возникших проблем. Зимич В.С. сторонник особого статуса маркшейдерской службы, деятельность которой объективно должна обеспечивать интересы государства при освоении ресурсов недр и регулироваться особым законодательным актом.

Зимич В.С. - автор более 80 публикаций и многих нормативных документов по вопросам маркшейдерского дела, рационального использования и охраны недр. Под его руководством и при его непосредственном участии были впервые в мировой и отечественной практике разработаны и утверждены Единые правила охраны недр при разработке месторождений полезных ископаемых. Принимал непосредственное участие в разработке Закона Российской Федерации «О недрах» 1992 г., в котором, благодаря его усилиям, был сохранен ряд не потерявших своей актуальности требований прежнего советского законодательства о недрах.

Владимир Степанович также автор ряда изобретений, действительный член Академии горных наук (1996 г.) и Международной академии минеральных ресурсов (1993 г.).

В настоящее время Зимич В.С. работает ведущим научным сотрудником Отдела управления промышленной безопасностью ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». Награжден медалью «Ветеран труда», «В память 850-летия г. Москвы», медалью им. Якова Брюса», почетными знаками «Шахтерская слава» и «Трудовая слава» трех степеней, «Лучший инспектор Госгортехнадзора СССР» и «Лучший инспектор Госгортехнадзора России», рядом других ведомственных наград. Ему присвоено почетное звание «Заслуженный шахтер России».

Владимир Степанович сторонник тезиса: «Государство превыше всего, в том числе и при недропользовании. Приоритет - охране недр. Только плановым системам принадлежит будущее».

Поздравляем Владимира Степановича с юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, дальнейших успехов в научной, производственной и общественной деятельности и благополучия в личной жизни.

*Госгортехнадзор России, ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», Союз маркшейдеров России, Редакция и редсовет журнала «МВ»*



## 75 ЛЕТ ЕВГЕНИЮ ГРИГОРЬЕВИЧУ ФУРСОВУ



27 марта исполнилось 75 лет со дня рождения известного ученого - горняка Фурсова Евгения Григорьевича, доктора технических наук, профессора кафедры разработки месторождений полезных ископаемых МГОУ, заведующего лабораторией горных работ ФГУП «Гипроцветмет», члена Ученого совета по защите кандидатских и докторских диссертаций при МГОУ, академика МАМР.

Трудовую деятельность Евгений Григорьевич начал в 1959 году горным мастером на Бериккульском золотом руднике. С 1961 по 1994 год работал в Восточном научно-исследовательском горнорудном институте, начав в должности младшего научного сотрудника и закончив заместителем главного инженера. В этот период им было предложено несколько разработок: способ погрузки пород ковшово-черпающим рабочим органом, вариант конвейера со скользящей лентой, схемы подготовки рудных тел при использовании непрерывных средств доставки руды, конструкции днищ блоков с выпуском руды несколькими зонами потока на одну выработку, схема дробилки крупного дробления, с разрушением материала скалыванием и др. технологические и технические разработки.

По всем разработкам был проведен комплекс исследовательских, конструкторских и опытно-

промышленных работ, которыми руководил Евгений Григорьевич. Ряд этих разработок внедрен на предприятиях «Сибруда», демонстрировались на ВДНХ и отмечены медалями всех достоинств, в т.ч. 2 серебряных и 3 бронзовых.

В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию по выпуску руды внедряющимися конвейерами, а в 1994 г. - докторскую по разработке технологических схем и погрузочно-доставочных средств непрерывного действия для подземной добычи руд.

С 1995 г. Е.Г.Фурсов работает во ФГУП «Гипроцветмет» в должности заведующего лабораторией горных работ. В этот период лабораторией по заказу предприятий, ведомств, ИПКОН выполнены НИР по разработке технологических регламентов на отработку нескольких месторождений, а также новых технологических схем добычи руд цветных металлов, использованию хвостов обогащения для закладки, схемы вскрытия и подготовки рудных тел с использованием единых средств на транспорте и подъем» руды и др.

С 2004 г. Е.Г.Фурсов совмещает исследовательскую работу с педагогической деятельностью, работая в качестве профессора на кафедре «Разработка месторождений полезных ископаемых» МГОУ.

Работая в названных исследовательских организациях и ВУЗе, разработал ряд изобретений технического и технологического плана по совершенствованию технологий отработки месторождений подземным и открытым способами.

Е.Г.Фурсов автор около 100 изобретений и патентов, 80 статей, нескольких монографий, методических пособий.

Евгений Григорьевич награжден знаками отличия: Победитель соцсоревнования по черной металлургии за 1980 г.; Горняцкая слава III степени, а также медалями: В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И.Ленина; Ветеран труда.

Евгений Григорьевич обладает такими качествами, как: скромность, отзывчивость и доброжелательное отношение к окружающим. Пользуется заслуженным авторитетом и уважением в коллективе.

Поздравляем Фурсова Евгения Григорьевича с юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, творческих успехов в педагогической и научной деятельности.

*Московский Государственный открытый университет (МГОУ), ФГУП «Гипроцветмет», Редакция журнала «МВ»*



# Не стало...

## СЕРГЕЯ ПАВЛОВИЧА СМИРНОВА

(1941 – 2012 гг.)



13 марта 2012 года на 71 году ушел из жизни **Смирнов Сергей Павлович**, заместитель директора Научного центра геомеханики и проблем горного производства Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (г.Санкт-Петербург).

Смирнов Сергей Павлович родился 14 июля 1941 г., выпускник 1970 г. Ленинградского института водного транспорта. 46 лет с 1961 г. по декабрь 2007 г. работал во Всесоюзном научно-исследовательском институте горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ) на должностях инженера, младшего научного сотрудника, научного сотрудника, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией и заместителя директора по научной работе в области маркшейдерии.

За время работы во ВНИМИ под руководством Смирнова Сергея Павловича был создан целый ряд востребованных на горнодобывающих предприятиях приборов, среди которых маркшейдерский светодальномер, гирокомпас МВГ, лазерные указатели типа ЛУН различных модификаций, лазерные приборы вертикального проектирования и другие. С декабря 2007 года являлся заместителем директора Научного центра геомеханики и проблем горного производства Национального минерально-сырьевого университета «Горный» (г.Санкт-Петербург). Под руководством Сергея Павловича в университете был разработан прибор гирокоспического ориентирования ПГО-1 – маркшейдерский гирокомпас, который на Петербургской технической ярмарке (13-15 марта 2012 г.) в номинации «Новые высокотехнологические разработки оборудования и наукоемкие технологии» удостоен диплома.

Сергей Павлович являлся членом редколлегии журналов «Маркшейдерский вестник» и «Маркшейдерия и недропользование», Комиссии №3 (по приборостроению) Международного Союза маркшейдеров и научно-технического

совета Союза маркшейдеров России. В 2008 г. организовал при горном университете конференцию «Новые технологии ведения маркшейдерских работ».

Умение разобраться в любых ситуациях, широкий кругозор и такие личные качества как доброжелательность и тактичность заслужили любовь и большой авторитет среди преподавателей, сотрудников Научного центра и целого ряда организаций, членом которых он являлся.

Он - автор более 90 печатных работ, 11 патентов РФ. Награжден знаками Шахтерская слава II и III степени. В 2010 г. награжден Юбилейной медалью «290 лет Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору».

В последние годы Сергей Павлович занимался методическим и техническим обеспечением маркшейдерско-геодезических работ на горнорудных предприятиях. В период с декабря 2007 г. под руководством Смирнова С.П. разработаны и согласованы в Ростехнадзоре следующие методические документы:

- Рекомендации по подготовке проектной документации на производство маркшейдерских работ;
- Проект производства маркшейдерских работ на объектах ООО «Регионснабсбыт» (г.Челябинск);
- Проект производства маркшейдерских работ на угольных разрезах ОАО «СУЭК-Красноярск» (разрезы – «Березовский-1», «Бородинский», «Назаровский»);
- Руководство по производству маркшейдерских работ в угольной промышленности по заданию Минэнерго;
- Положение о маркшейдерской службе «Санкт-Петербургского государственного горного института им. Г.В.Плеханова» (технического университета).

С 1997 г. являлся доцентом кафедры Инженерная геодезия. Проводил лекционные и лабораторные занятия по дисциплинам «Автоматизация топографо-геодезических измерений», «Спутниковые и светодальномерные измерения» со студентами дневной и заочной форм обучения специальности «Инженерная геодезия».

Участвовал в работе Учебного Центра дополнительного образования университета, а также преподавал на курсах повышения квалификации Ростехнадзора России по дисциплине «Маркшейдерское дело».

Уход из жизни такого многогранного, энергичного и расположенного к людям человека представляет собой невосполнимую утрату для сотрудников научного центра, студентов и преподавателей, а также для всех, кто был знаком и работал вместе с Сергеем Павловичем.

Светлую память о Сергее Павловиче Смирнове, ученом и преподавателе, талантливом организаторе и общественном деятеле, замечательном человеке навсегда сохранят его ученики, единомышленники и все кто его знал.

Коллективы сотрудников Научного центра геомеханики и проблем горного производства Национального минерально-сырьевого университета «Горный», ВНИМИ, СПГГУ(ТУ), Союз маркшейдеров России, редсовет НТИП журнала «МВ» скорбят о Сергее Павловиче и выражают искренние соболезнования его родным и близким.

# ИНФОРМАЦИЯ

## ФОРУМ ГОРНЯКОВ – 2012

Международная научно-практическая конференция  
03 – 06 октября 2012 г. Украина, г. Днепропетровск

### Организаторы конференции:

- Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины;
- Комитет Верховного Совета Украины по вопросам топливно-энергетического комплекса, ядерной политики и ядерной безопасности;
- Министерство энергетики и угольной промышленности Украины;
- ГВУЗ «Национальный горный университет» (Днепропетровск);
- ПрАО «Донецксталь» - Metallургический завод;
- ПАО «ДТЕК Павлоградуголь»;
- Институт горной и металлургической электроэнергетики МОНмолодежьспорт Украины и НАН Украины;
- Институт проблем экологии и природопользования НАН Украины (Днепропетровск);
- Национальная академия наук Украины;
- Национальное агентство Украины по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов;
- НАК «Нафтогаз Украины»;
- Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности;
- Государственный комитет Украины по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору.

### Зарубежные партнеры:

- Технический университет «Фрайбергская горная академия» (ФРГ);
- Бранденбургский технический университет (Коттбус, ФРГ);
- Ройтлингенский университет техники и экономик (ФРГ);
- Эсслингенский университет прикладных наук (ФРГ);
- Монтан-Университет Леобен (Австрия);
- Научно-технический университет «Краковская горно-металлургическая академия» (Польша);
- Вроцлавский технический университет (Польша);
- Главный институт горного дела (Катовице, Польша);
- Университет Лаваль (Калгари, Канада)
- Московский государственный горный университет (Россия)
- Санкт-Петербургский государственный горный университет (Россия)
- Казахский национальный технический университет (Алматы, Казахстан)

**Председатель оргкомитета:** Пивняк Геннадий Григорьевич, ректор ГВУЗ «Национальный горный университет», академик НАН Украины

### Заместители председателя:

БЕШТА Александр Степанович, проректор по научной работе, профессор; ШАШЕНКО Александр Николаевич, проректор по международным связям, профессор

### Международный организационный комитет

И.Н.Попович (Украина); Ю.Г.Вилкул (Украина); Г.Г.Пивняк (Украина); Б.Майер (ФРГ); М.Шмидт (ФРГ); Н.Нойбергер (ФРГ); К.Дребенштедт (ФРГ); В.Хайдлер (ФРГ); М.Хардигора (Польша); А.Тайдусь (Польша); Р.К.Сингхал (Канада); А.В.Корчак (Россия); Б.Р. Ракишев (Казахстан)

**Место проведения** - г. Днепропетровск (Украина), ГВУЗ «Национальный горный университет»

**Официальные языки:** украинский, русский, английский.

**Культурная программа** - экскурсии по отдельной программе. Стоимость экскурсий не входит в регистрационный взнос.

### Научно-технические секции:

- технологии подземной добычи полезных ископаемых;
  - открытые горные работы;
  - обогащение полезных ископаемых;
  - пути развития маркшейдерско-геодезических работ;
  - строительство и эксплуатация подземных сооружений;
  - геомеханика и геотехника;
  - геология;
  - проблемы и перспективы усовершенствования горного оборудования;
  - рудничная аэрология и безопасность труда;
  - технологии экономного и безопасного использования электроэнергии;
  - автоматизация в горном деле;
  - экономика и управление в горной промышленности;
  - экологические и правовые проблемы техногенно-загрязненных регионов.
- Пожалуйста, укажите научно-техническую секцию, на которой Вы хотели бы презентовать свой доклад.

**Принимаются заявки от организаций горного профиля, ВУЗов, НИИ, зарубежных фирм на проведение презентаций, реклам на мероприятиях Форума, подготовку экспозиций.**

Для своевременного формирования программы Форума и публикаций материалов необходимо **до 31 июля 2012 г.** в Оргкомитет направить:

- тексты докладов (требования к оформлению прилагаются);
- заявку на участие (регистрационная форма прилагается).

Статьи, которые будут направлены в организационный комитет Форума **после 31.07.12 г. не будут опубликованы.**

**Предварительную программу форума, требования к оформлению текстов докладов и заявку на участие можно найти на сайте [www.nmu.org.ua](http://www.nmu.org.ua)**

**Регистрационный взнос участника** составляет 500 грн.. Украины (в т.ч. НДС). В сумму регистрационного взноса входит: пакет участника, сборник научных трудов международной конференции «Форум горняков - 2012» и участие в протокольных мероприятиях.

Регистрационный взнос можно оплатить по прибытию на Форум.

Участники Форума размещаются в гостиницах города. Оплата за проживание и питание не входят в регистрационный взнос (информация о гостиницах города прилагается отдельно).

**Секретарь:** ТЕРЕЩУК Евгения Евгеньевна

**Контакты:** ГВУЗ «Национальный горный университет», Отдел международных связей, просп.К.Маркса, 19 корпус 4, комната 31/1, 49005, г. Днепропетровск, Украина

тел./факс: (+38 0562) 47-07-66, (+38 0562) 374-21-84;  
E-mail: [tereschuke@nmu.org.ua](mailto:tereschuke@nmu.org.ua)

## Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России»

## НОЧУ «ЦДО «Горное образование»

(Лицензия серии А №311626 Регистрационный № 025588)

**Повышение квалификации и переподготовка по горным специальностям в 2012 году**

Обучение проводится НОЧУ «ЦДО «Горное образование» при методическом руководстве и сопровождении Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России» и Российского геологического общества (РосГео)

**Цель обучения:**

- повышение эффективности деятельности организаций недропользователей на основе изучения научных достижений, прогрессивных технологий в области горного дела и геологии, методов управления, изменений в законодательной и нормативно-правовой базе, а также передового опыта организации геологических, маркшейдерско-геодезических и иных видов горных работ.

**В программе обучения:**

- совершенствование систем управления качеством работ и услуг в области горного дела и геологии на основе рыночных механизмов профилактики правонарушений и саморегулирования;
- соблюдение требований законодательства о недрах и о техническом регулировании, обеспечение безопасного и рационального использования минеральных ресурсов России;
- применение передовых технологий, новейших приборов, оборудования и программного обеспечения при освоении минерально-сырьевых ресурсов, в производстве геологических, маркшейдерско-геодезических и иных видов горных работ;
- повышение экономической эффективности деятельности горно- и нефтегазодобывающих организаций.

Педагогический состав включает ведущих специалистов по основным направлениям горного дела министерств и ведомств природоресурсного блока, научных, проектных и учебных организаций.

*Программа курсов повышения квалификации - 72 часа.*

*Программа предаттестационной подготовки по промышленной безопасности и охране недр - 40 часов.*

Плата за обучение на курсах повышения квалификации в 2012 году составляет 38500 руб. Оплата осуществляется по безналичному расчету (НДС не облагается). Стоимость проживания не входит в стоимость обучения.

Обучающимся бронируются места для проживания в гостиничных комплексах по факту поступления заявок и месту проведения обучения.

Иногородних участников просим заблаговременно приобрести билеты на обратный проезд из Москвы и иных мест проведения мероприятий.

По окончании курсов повышения квалификации выдётся удостоверение.

**График проведения курсов в 2012 году:  
курсы повышения квалификации:**

| Сроки проведения   | Направление  | Категория слушателей   |
|--|--|--|
| 28.05.2012-06.06.2012*<br>24.09.2012-03.10.2012**<br>15.10.2012-24.10.2012***<br>12.11.2012-21.11.2012 | «Маркшейдерское дело»  | специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций                 |
| 28.05.2012-06.06.2012*<br>24.09.2012-03.10.2012**<br>15.10.2012-24.10.2012***                          | «Рациональное использование и охрана недр»                                 | специалисты служб лицензирования, недропользования, главного геолога |
| 28.05.2012-06.06.2012*<br>24.09.2012-03.10.2012**<br>15.10.2012-24.10.2012***                          | «Геология»   | специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций                 |
| 28.05.2012-06.06.2012*<br>24.09.2012-03.10.2012**<br>15.10.2012-24.10.2012***                          | «Землеустройство и земельный кадастр»                                      | специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций                 |
| 28.05.2012-06.06.2012*<br>24.09.2012-03.10.2012**<br>15.10.2012-24.10.2012***                          | «Промышленная безопасность опасных производственных объектов»              | специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций                 |
| 28.05.2012-06.06.2012*<br>24.09.2012-03.10.2012**<br>15.10.2012-24.10.2012***                          | «Организация кадровой службы и управление персоналом при недропользовании» | специалисты кадровых служб горно- и нефтегазодобывающих организаций  |
| 28.05.2012-06.06.2012*<br>24.09.2012-03.10.2012**<br>15.10.2012-24.10.2012***                          | «Охрана окружающей среды при недропользовании»                             | специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций                 |

\* - курсы повышения квалификации проводятся в г.Кисловодск. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской научно-практической конференции «Промышленная безопасность при недропользовании и охрана недр»

\*\* - курсы повышения квалификации проводятся в г.Анапа. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской конференции «Рациональное и безопасное недропользование»

\*\*\* - слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии в горном деле, геологическом и маркшейдерско-геодезическом обеспечении горных работ» в г.Санкт-Петербурге

Получить более подробную информацию об обучении, а также о дополнительных мероприятиях можно на сайте [www.mwork.su](http://www.mwork.su), по e-mail: [obr@mwork.su](mailto:obr@mwork.su); [gorobr@inbox.ru](mailto:gorobr@inbox.ru) или по тел. (495) 641-00-45, (499) 263-15-55