Журнал издается 24-й год (с 1992 г.) и продолжает традиции периодических научно-технических изданий по маркшейдерскому делу, выходивших в России и СССР в 1910-1936 гг.

Издатель – ОАО «ГИПРОЦВЕТМЕТ» Генеральный директор, к.ю.н. Попов Роман Владимирович

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

### Члены Редсовета:

Гальянов А.В. Кузьмин Ю.О. Глейзер В.И. Макаров А.Б. Гордеев В.А. Милетенко Н.А. Грицков В.В. Навитний А.М. Гусев В.Н. Охотин А.Л. Загибалов А.В. Трубчанинов А.Д. Зимич В.С. Черепнов А.Н. Зыков В.С. Шадрин М.А. Калинченко В.М. Юнаков Ю.Л. Кашников Ю.А.

#### 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

**Технический редактор МОЛОДЫХ** Ирина Валерьевна

**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) 600-32-00 доб.14-19

E-mail: office@giprocm.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

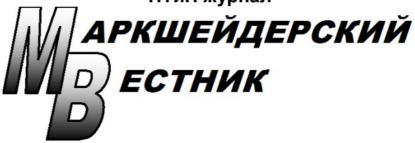
Подписано в печать 20.09.2016 г.
Индексы в каталогах:
Агентства Роспечати 71675,
Пресса России 90949,
Урал-Пресс 71675
В течение года можно оформить
подписку на журнал через редакцию

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



№5 (114), сентябрь – октябрь, 2016 г.

Учредители: СОЮЗ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ СОЮЗ ЗОЛОТОПРОМЫШЛЕННИКОВ ГИПРОЦВЕТМЕТ

Журнал входит в перечень ведущих научных изданий ВАК Минобразования и науки РФ

«Учиться и не размышлять - напрасно терять время, размышлять и не учиться - губительно»

Конфуций

## в этом номере:

- ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ
- *Геодезия, маркшейдерия,* **ГИС**
- Проблемы горной геомеханики
- **П**РОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
- Информация





Учредители, издатель, редакционный совет и редакция научнотехнического и производственного журнала «Маркшейдерский вестник» сердечно поздравляют наших читателей с праздниками: Днем работников нефтяной и газовой промышленности; Днем маркшейдера.

Желаем всем нашим недропользователям и их семьям доброго здоровья, успехов в труде, благополучия и личного счастья!

## СОДЕРЖАНИЕ

### **CONTENTS**

Стр. Page

	Pag
– ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ	
- PROBLEMS OF SUBSURFACE RESOURCES MANAGEMENT	
<b>М.В.Рыльникова, А.Б.Юн, И.В.Терентьева, Е.Н.Есина.</b> Восполнение выбывающих мощностей рудников на стадии доработки балансовых запасов месторождения — условие экологически сбалансированного развития Жезказганского региона	6
<b>M.V.Ryl'nikova</b> , <b>A.B.Yun</b> , <b>I.V.Terent'yeva</b> , <b>E.N.Esina</b> . Completion of the disposed capacities of mines at the stage of completion of balance sheet field reserves – the condition of ecologically balanced development of the Zhezkazgan region	Э
<b>Н.А.Малашевский, А.Ю.Паламар.</b> Некоторые аспекты расчета нормативной денежной оценки подобных (одинаковых) объектов недвижимого имущества	11
<b>N.A.Malashevskiy, A.Yu.Palamar.</b> Some aspects of calculation of standard cash assessment of similar (identical) real estate units	1-
– ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС	
– GEODESY, MINE SURVEYING, GIS	
<b>Б.Н.Дьяков, М.А.Иванов, Д.А.Быкасов.</b> Выбор оптимального варианта плановой сети сгущения	14
<b>B.N.D'yakov, M.A.Ivanov, D.A.Bykasov.</b> Selection of the optimal variant of the planimetric thickening network	
<b>О.Н.Вылегжанин, С.А.Рыбалка.</b> Расчет координат неизвестной точки по результатам дирекционных измерений	18
O.N.Vylegzhanin, S.A.Rybalka. The evaluation of the coordinates of unknown point from the results of directional measurements	
– ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ	
- PROBLEMS OF MOUNTAIN GEOMECHANICS	
<b>Ю.О.Кузьмин, Е.А.Фаттахов.</b> Тензометрический метод анализа результатов наблюдений на геодинамических полигонах	22
Yu.O.Kuz'min, E.A.Fattakhov. Tensometric method of the analysis of results of observations on geodynamic grounds	;

<b>В.А.Бабелло, С.И.Щукин, Н.В.Овчаренко.</b> О причинах деформаций западного борта разреза «Уртуйский»	26
<b>V.A.Babello, S.I.Shchukin, N.V.Ovcharenko.</b> About the reasons of deformations of the western board of Urtuysky coal mine	
<b>А.С.Харкевич, Т.И.Лазаревич, В.С.Зыков</b> . Исследование параметров наведенных электромагнитных полей для оценки напряженно-деформированного состояния горного массива	32
<b>A.S.Kharkevich, T.I.Lazarevich, V.S.Zykov</b> . Research of parameters of the induced electromagnetic fields for assessment of the intense deformed condition of the massif	
В.И.Ляшенко. Приборно-методическое и техническое обеспечение геомеханической безопасности горных работ под водными объектами	37
<b>V.I.Lyashenko.</b> Instrument and methodical and technical ensuring geomechanical safety of mining operations under water objects	
В.С.Зыков. О механизме формирования выбросоопасной ситуации в очистном забое угольной шахты	44
<b>V.S.Zykov.</b> About the mechanism of formation of emission of the dangerous situation in the clearing face of the coal mine	
<b>Ю.В.Заморкина, Д.В.Сидоров.</b> Геомеханическое обоснование эффективности подземного выщелачивания руды на Хиагдинском урановом месторождении	48
Yu.V.Zamorkina, D.V.Sidorov. Geomechanical reasons for efficiency of underground leaching of ore on the hiagdinsky uranium field	
– ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	
- PROBLEMS OF INDUSTRIAL SAFETY	
В.К.Мусаев. Математическое моделирование безопасности окружающей среды при нестационарных упругих взрывных воздействиях в объекте хранения опасных веществ	53
<b>V.K.Musayev.</b> Mathematical modeling of environmental security in unsteady elastic explosion in the object storing hazardous substances	
<b>С.Е.Германова, В.С.Полянская, И.И.Хайдарова.</b> Проблема загрязнения почв нефтедобывающих районов Южного Предуралья в пределах республики Башкортостан	57
<b>S.E.Germanova</b> , <b>V.S.Polyanskaya</b> , <b>I.I.Khaydarova</b> . Problem of pollution of soils of oil-extracting regions of the Southern Cis-urals within the republic of Bashkortostan	
– ИНФОРМАЦИЯ	59
- INFORMATION	

### Уважаемые коллеги!

Напоминаем Вам, что с 23 по 27 января 2017 г. в Горном институте (НИТУ «МИСиС») будет проходить Юбилейный XXV Международный научный симпозиум «Неделя горняка-2017». Организаторами традиционно выступают Горный институт (НИТУ «МИСиС»), Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Научный совет РАН по проблемам горных наук.

Работа симпозиума будет организована в рамках 9 семинаров и 2 круглых столов.

С программой симпозиума, контрольными сроками и требованиям к оформлению заявок и текстов докладов можно ознакомиться на сайте: www.misis.ru (путь поиска: Институты - Горный институт — Научная деятельность — Неделя горняка — 2017) или по тел. (499)230-2751, Королева Валентина Николаевна, E-mail: koroleva@msmu.ru

Редакция «МВ»

УДК 622.343

М.В.Рыльникова, А.Б.Юн, И.В.Терентьева, Е.Н.Есина

# ВОСПОЛНЕНИЕ ВЫБЫВАЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ РУДНИКОВ НА СТАДИИ ДОРАБОТКИ БАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ – УСЛОВИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО РЕГИОНА<sup>\*</sup>

Предложена стратегия комплексного экологически сбалансированного освоения Жезказганского месторождения на стадии доработки балансовых запасов. Рассмотрены основные принципы функционирования и направления модернизации горнотехнической системы горнорудного предприятия, направленные на восполнение минерального-сырьевой базы региона и стабилизацию экологической обстановки. Разработана технология освоения техногенного образования, представленного хвостами обогащения руд в законсервированном хвостохранилище.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** освоение недр;, минерально-сырьевые ресурсы; запасы; комплексное освоение; проектирование; геотехнология; экологически сбалансированный цикл; геомеханическая ситуация; хвостохранилище; техногенное образование.

M.V.Ryl'nikova, A.B.Yun, I.V.Terent'yeva, E.N.Esina

# COMPLETION OF THE DISPOSED CAPACITIES OF MINES AT THE STAGE OF COMPLETION OF BALANCE SHEET FIELD RESERVES – THE CONDITION OF ECOLOGICALLY BALANCED DEVELOPMENT OF THE ZHEZKAZGAN REGION

The strategy of complex ecologically balanced development of the Zhezkazgan field at a stage of completion of balance sheet inventories is offered. The basic principles of functioning and the direction of upgrade of mining system of the mining entity directed to completion of mineral - a source of raw materials of the region and stabilization of an ecological situation are considered. The technology of development of the technogenic education provided by tails of enrichment of ores in the preserved tailings dam is developed.

**KEY WORDS:** development of a subsoil; mineral raw material resources; inventories; complex development; designing; geotechnology; ecologically balanced cycle; geomechanical situation; tailings dam; technogenic education

Длительное интенсивное освоение Жезказганского месторождения привело к истощению балансовых запасов, накоплению на поверхности отходов горно-обогатительного производства и обострению экологической обстановки в регионе. Учитывая стратегическое значение месторождения в экономике Республики Казахстан, основной проблемой развития этого крупного горнопромышленного региона является восполнение минерально-сырьевой базы в постоянно усложняющихся горнотехнических и геомеханических условиях.

Стратегия комплексного освоения Жезказганского месторождения на современной стадии развития горных работ должна основываться не на решении сиюминутных потребностей предприятия, а на создании устойчивой горнотехнической системы, обеспечивающей добычу и переработку оставшихся природных и техногенных минеральных ресурсов с соблюдением экологического равновесия и сохранением среды обитания в рамках горнотехнической системы и в ореоле ее влияния [1].

Проектирование освоения Жезказганского месторождения на стадии доработки балансовых запасов должно учитывать основные принципы обеспечения устойчивости функционирования и развития горнодобывающих структурных подразделений единого горно-металлургического комбината, а именно [2, 3]:

- обеспечение промышленной и экологической безопасности горных работ;
- соблюдение баланса интересов государства, общества и субъектов горного бизнеса;
- сохранение равновесного состояния среды обитания в рамках горнотехнической системы и в ореоле ее влияния;
- своевременное и адекватное объемам добычи руды восполнение минерально-сырьевой базы Жезказганского производственного объединения;
- внедрение физико-химических геотехнологий комплексного извлечения ценных компонентов из добываемых руд и техногенного сырья с утилизацией конечных отходов преимущественно в выработанном пространстве земных недр, либо на техногенном ландшафте с воспроизводством их новых полезных качеств.

Решение поставленных задач, а также сохранение и улучшение окружающей среды в ходе освоения недр может быть достигнуто только целенаправленным совершенствованием геотехнологий добычи и переработки полезных ископаемых.

Следует рассматривать в качестве источника восполнения сырьевой базы Жезказганского региона не только балансовые и забалансовые запасы дейст-

<sup>\*</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №14 – 37 – 00050

вующих рудников, но и накопленное за длительный период освоения месторождения техногенное сырье, представленное отходами обогащения руд [4]. Кроме того, восполнение сырьевой базы возможно за счет запасов, ранее не вовлекавшихся в эксплуатацию: упорных и труднообогатимых смешанных и окисленных руд, а также запасов, списанных ранее в потери и временно-неактивных запасов, расположенных преимущественно в зонах охранных целиков горнопромышленных объектов.

Кроме того, в Жезказганском регионе остро стоит проблема стабилизации геомеханической ситуации, ввиду накопления в недрах за долгие годы эксплуатации месторождения больших объемов выработанных пространств, оставления целиков, активизации их массовых разрушений, преимущественно из-за большого срока стояния и потери несущей способности смежных целиков.

Почти половина потерянных запасов заключена в междукамерных целиках. Их извлечение возможно либо из открытого пространства камер, либо из полевых выработок. Технология извлечения целиков определяется их геомеханическим состоянием. Отработка устойчивых целиков из открытого выработанного пространства, безусловно, является предпочтительной вследствие низких затрат и высокой произ-

водительности. Для определения условий безопасного применения данной технологии разработана методика оценки устойчивости целиков, вовлекаемых в повторную разработку [5].

Исследования механизма разрушения целиков позволили установить, что процесс разрушения целиков и налегающего массива, начавшись с одного или нескольких целиков, по мере распространения на соседние, накапливает все большую энергию и самоускоряется. Возникает цепная реакция разрушения междукамерных целиков, остановить которую способны лишь граница выработанного пространства или целики с высоким запасом прочности [6]. Состояние междукамерных целиков и происшедшие обрушения кровли в совокупности определяют состояние всего выработанного пространства панели.

Выбор оптимальной геотехнологии разработки оставленных запасов месторождения, реализацию инженерных мероприятий по погашению пустот рекомендуется проводить на основании разработанной классификация оценки состояния пород кровли выработанного пространства по степени разрушения целиков и налегающих пород, учитывающей особенности напряженно-деформированного состояния и несущую способность междукамерных целиков (табл.1).

Таблица 1 Классификация состояния налегающей толщи по степени разрушения междукамерных целиков

Состояние массива налегающих пород	Характерные признаки состояния МКЦ	Рекомендуемая технология разработки
Устойчивый	Имеются не более 5% рассредоточено расположенных целиков, находящихся в начальной стадии разрушения	Камерно- столбовая система разработки
Ослабленный	При наличии признаков разрушения и не более 15% сосредоточенных МКЦ или имеются отдельные МКЦ, потерявшие несущую способность, отслоения и вывалы пород кровли	Система подэтажного обрушения
Неустойчивый	В выработанном пространстве имеется сосредоточенная группа полностью разрушенных целиков, и произошло обрушение пород кровли с образованием свода обрушения	Системы с самообрушением руды
Обрушенный	Целики претерпели деформирования и имеется разрушения кровли с образованием куполов или провала земной поверхности над выработанным пространством	Закладка выработанного пространства

Наиболее приемлемым способом стабилизации геомеханической ситуации является применение повторной разработки запасов месторождения с управляемым обрушением налегающих пород и площадным выпуском руды в полевые выработки. Это позволяет погасить образовавшиеся пустоты, снизить напряжения в массиве вмещающих пород и в рудных целиках и вовлечь в добычу обрушенные запасы и запасы ослабленных участков в свите залежей.

Добыча руды путем повторной разработки с

управляемым обрушением и площадным выпуском руды из полевых выработок предполагает поступление с рудой большого количества разубоженной вмещающими породами рудной массы, значительно снижающей качество поступающего на переработку сырья.

Важным условием использования ранее не вовлекаемых запасов природного минерального сырья является выбор рациональной и экономически эффективной технологической схемы его переработки с

минимизацией отрицательного воздействия на природную среду в соответствии с принципами экологически сбалансированного комплексного освоения месторождений [7, 8]. Разработанные технологии эффективной переработки сульфидных, смешанных и окисленных руд Жезказганского месторождения с максимально возможным извлечением ценных компонентов позволяют вовлечь их в эффективную эксплуатацию, расширяя минерально-сырьевую базу региона [9].

Огромные объемы складированных в законсервированном хвостохранилище отходов обогащения, содержащих цветные, благородные, и редкие металлы, представляют несомненную ресурсную ценность и требуют разработки инновационных технологических и организационных решений по их вовлечению в промышленную эксплуатацию. Техногенное сырье, представленное отходами переработки медных руд Жезказганского месторождения, заскладированное в предыдущие годы в хвостохранилище с отстойником оборотного водоснабжения и большими пылящими поверхностями пляжей, высокими дамбами обвалования, содержит комплекс полезных компонентов, которые могут быть извлечены с применением принципиально новых технологий добычи и переработки низкосортного сырья.

Приоритетами в поиске оптимальных технических решений для освоения уже накопленного техногенного сырья являются его рациональная и надежная добыча и доставка до обогатительной фабрики, обеспечивающая работоспособность оборудования при круглосуточном круглогодичном режиме работы, а также минимизация эксплуатационных затрат.

Технология переработки тонкодисперсного сырья предусматривает проведение операций закисления, грануляции, обжига для дальнейшего выщелачивания и гидрометаллургии. При этом, рациональная эксплуатация техногенного образования должна предусматривать мероприятия по защите окружающей среды с минимальными затратами.

По площади хвостохранилища лежалые хвосты разделяются на три зоны с принципиально различными грунтами техногенного происхождения:

- периферийная зона расположена по периметру хвостохранилища, представляет собой много-ярусные дамбы обвалования из обломочной породы, шириной порядка 7 м;
- пляжная зона пляж из «песков» крупностью 0,1-1,5 мм, намытый вдоль внутреннего периметра дамб обвалования шириной 200 -300 м;
- центральная зона тонкодисперсные хвосты, намытые в основном вмещающем объеме хвостохранилища с центральным ядром из глинистой фракции.

Хвосты в пляжной зоне являются достаточно сухими и уплотненными и не вызывают затруднений для извлечения тяжелой строительной техникой.

Наличие прудка в центре западной части законсервированного хвостохранилища, а также примыкающих к нему обводненных массивов текучих, вязкотекучих и пластичных хвостов с низкими прочностными характеристиками и отсутствием несущей способности, значительно усложняет добычу и транспортировку лежалых хвостов к месту повторного обогащения. Это осложняется регулярной подпиткой прудковой зоны весенними талыми водами, а также дополнительным притоком за счет выделения капиллярной воды из хвостов.

В результате испытаний механических характеристик грунтов техногенного массива в талом и мерзлом состоянии установлены закономерности изменений показателей прочности от влажности сырья и температуры окружающей среды (рис.1). При понижении температуры наблюдается рост прочности на сжатие, что является следствием увеличения сцепления, за счет цементации техногенных частиц льдом. При этом прочность увеличивается с уменьшением степени дисперсности пород, что связано с сокращением количества незамерзшей воды. Это определяет возможность сезонной разработки прудковой зоны хвостохранилища в период отрицательных температур с применением механизированного способа добычи лежалых хвостах с применением специальных мер по осушению и промораживанию масси-

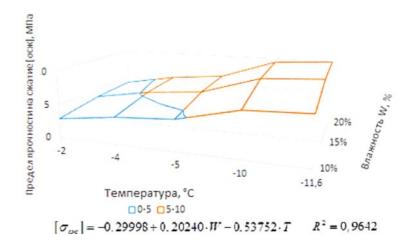


Рис.1. Зависимость предела прочности на сжатие мерзлых глин и суглинков от температуры и влажности

Разработанная технология освоения техногенного сырья хвостохранилища предусматривает опережающую по глубине отработку пляжной зоны с созданием специальной системы водоотведения и выемку запасов прудковой зоны в период отрицательных температур с предварительным формированием углубочных траншей для увеличения зоны промерзания массива (рис.2).

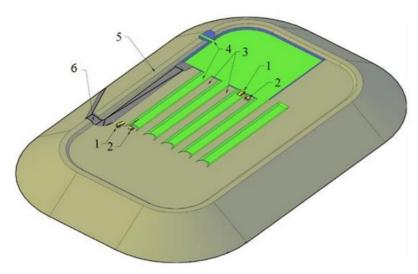


Рис.2. Технология разработки лежалых хвостов с отдельной выработкой хвостов прудковой зоны:

1 – автосамосвал; 2 –экскаватор типа «обратная лопата»; 3 – подготовленные к осушению блоки; 4 – траншея для осушения; 5 –тело ограждающей дамбы; 6 – автодорога

С учетом установленных природнотехнологических закономерностей изменения свойств массива обоснована схема развития горных работ на хвостохранилище:

- до начала разработки лежалых хвостов законсервированного хвостохранилища бульдозерами снимается рекультивационный слой и вывозится в отдельный отвал либо сразу для дальнейшего использования грунтов при отсыпке дамб обвалования действующего хвостохранилища, либо для проведения рекультивационных мероприятий;
- непосредственная разработка лежалых хвостов осуществляется слоями мощностью 2-4 м по периферии прудка с учетом фактического рельефа с нарастанием высоты уступа от центра к периферии до 7-9 м для приведения поверхности ложа хвостохранилища из воронкообразного в горизонтальное состояние с возведением водоотливных канавок; такое положение позволяет естественным путем избавляться от весенних талых вод с их сбором и отводом на водоотливные канавки и постепенно наращивать интенсивность разработки массива хвостохранилища;
- развитие работ в глубину уступами по периметру пляжной зоны высотой 8 м с оставлением в центральной части хвостохранилища, характеризуемой более низким содержанием ценных компонентов, нетронутого массива для формирования горизонтальной транспортной бермы; развитие работ по отработке пляжной зоны производится преимущественно в период положительных атмосферных температур;
- отработка центральной прудковой части преимущественно в зимнее время экскаватором с постепенным срабатыванием транспортной бермы; мерзлое состояние грунта способствует повышению устойчивости массива для работы горнотранспортной техники.

Кроме того, в весеннее время появляется возможность отвода талых вод, которые подпитывают прудковую зону законсервированного хвостохранилища, при этом обеспечивается осушение ее массива.

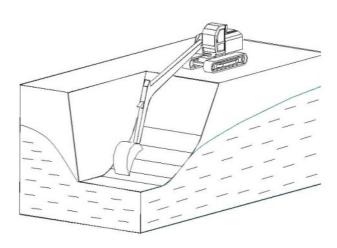


Рис.3. Разработка хвостохранилища со слабым основанием с установкой экскаватора на верхней площадке уступа

Движение экскаваторов при разработке хвостов может выполнятся по радиальному направлению от центра хвостохранилища до борта дамбы обвалования и обратно либо по окружности. При этом размещение экскаватора на верхней площадке в значительной степени расширяет рабочие возможности выемки слабо устойчивых грунтов прудковой зоны (рис.3).

Разработка прудковой зоны предпочтительна в зимний период. Для повышения устойчивости работы и перемещения карьерного оборудования, повышения интенсивности отработки хвостохранилища, предотвращения непредвиденных оползней работы по осушению массива хвостохранилища необходимо проводить постоянно по мере углубки горных работ. Низкая ценность техногенного сырья предопределяет выбор технологии по минимуму затрат. Эта проблема решается за счет предварительного формирования проветриваемых траншей на поверхности откоса, которые позволяют разбить прудковую зону на выемочные заходки, исходя из особенностей физикомеханических свойств и пористости хвостов.

Для начала создаются в зимний период времени проветриваемые траншеи, которые разбивают прудковую зону на заходки, образуя депрессионные воронки осушения. Осушению массива также способствуют процессы выветривания и вымерзания влаги.

В летний период времени производят отработку медьсодержащих хвостов в выемочных заходках, при этом освобождается от налегающих хвостов поверхность нижележащего горизонта, а также в пляжной зоне. Опережение уровня фронта горных работ по вертикали на участках пляжной зоны по отношению к прудковой способствует понижению уровня грунтовых вод и осушению массива прудковой зоны.

После отработки верхнего горизонта прудковой зоны на нижележащем горизонте к этому времени происходит осушение, а в зимний период времени – промерзание массива медьсодержащих хвостов на определенную глубину. Это позволяет установить карьерный экскаватор на поверхности второго горизонта. Развитие добычных работ предусматривается

от периферии хвостохранилища к центральной его части. Далее цикл операций повторяется согласно вышеописанной схеме.

Извлеченные из массива хвостохранилища хвосты направляются на переработку на специально строящуюся фабрику для извлечения широкого спектра ценных, драгоценных и редких металлов. Отходы переработки рекомендовано использовать в качестве сырья для приготовления строительных материалов.

Таким образом, условием восполнения выбывающих мощностей действующих рудников Жезказганского месторождения является комплексное вовлечение в эксплуатацию всех видов медьсодержащего сырья: бедных сульфидных и смешанных руд, окисленных руд, руд из зон обрушения, текущего и лежалого техногенного сырья. Помимо расширения минерально-сырьевой базы при освоении месторождения на стадии реконструкции, это обеспечит экологически сбалансированное развитие Жезказганского региона, ввиду разработки ранее сформированных хвостохранилищ, сокращения объемов складирования отходов на земной поверхности, сокращения вредного воздействия техногенных образований на окружающую среду.

#### Литература

- 1. Юн А.Б., Рыльникова М.В., Терентьева И.В. О перспективах и стратегии освоения Жезказганского месторождения / Горный журнал. №5. С. 44 -49.
- 2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал, 2013. № 12. С. 86-90.
- 3. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н. Обоснование полного цикла комплексного освоения недр при разработке ме-

сторождений твердых полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2011. Отдельный выпуск №1. Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2011». — С.447-455.

- 4. Юн А.Б., Терентьева И.В. Вовлечение техногенной сырьевой базы горнопромышленного региона в рамках стратегии комплексного экологически сбалансированного освоения Жезказганского месторождения/ Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика К.Н. Трубецкого М.: ИПКОН РАН. 2016. С.288-291.
- 5. Юн А.Б. и др. Нагруженность междукамерных целиков при повторной разработке // Горный журнал, 2002, № 5. С. 24-26.
- 6. Методика оценки устойчивости междукамерных целиков, вовлекаемых в повторную разработку. М., РГГРУ, 2005. 55 с.
- 7. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Новые подходы к проектированию ресурсовоспроизводящих технологий комплексного освоения рудных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011. №3. С. 58-66.
- работки полезных ископаемых. 2011. №3. С. 58-66. 8. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы обоснования параметров устойчивого и экологически сбалансированного освоения месторождений твердых полезных ископаемых // В сборнике: Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). — Москва. — 2014. — С. 3-10.
- 9. Юн А.Б., Терентьева И.В. Выщелачивание руд и техногенного сырья условие устойчивого развития региона при доработке Жезказганского месторождения / VIII Международная конференция «Комбинированная геотехнология: устойчивое и экологически сбалансированное освоение недр». г. Магнитогорск. 2015. С. 27-28.

Марина Владимировна Рыльникова, профессор, д-р техн.наук, заведующий Отделом теории проектирования освоения недр<sup>1</sup>; Александр Борисович Юн, канд.техн.наук, директор<sup>2</sup>; Ирина Владимировна Терентьева, геолог<sup>2</sup>; Екатерина Николаевна Есина, канд.техн.наук, старший научный сотрудник<sup>1</sup>

(1 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук;

<sup>2</sup> - ТОО «КазГидроМедь»)

### Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в XI Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (с участием иностранных ученых), проводимой Институтом горного дела УрО РАН ( г.Екатеринбург) с 8 по 10 февраля 2017 г.

Конференция призвана способствовать междисциплинарному диалогу в области недропользования для создания прорывных технологий, а также стать площадкой для повышения квалификации молодых ученых, аспирантов и студентов!

С тематикой конференции, контрольными сроками и требованиям к оформлению заявок и текстов докладов можно ознакомиться на сайте: https://conf.igduran.ru, E-mail: mk@igduran.ru

Редакция «МВ»

УДК 332.6

Н.А.Малашевский, А.Ю.Паламар

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА НОРМАТИВНОЙ ДЕНЕЖНОЙ ОЦЕНКИ ПОДОБНЫХ (ОДИНАКОВЫХ) ОБЬЕКТОВ НЕДВИЖИМОГО ИМУЩЕСТВА

На примерах земельных участков города Киева рассмотрен порядок расчета нормативной денежной оценки недвижимого имущества, как один из главных инструментов сопровождения операций с капиталом. Показана информация о слабых и сильных сторонах объектов оценки, что позволяет оценить эффективность его функционирования, текущие, прошлые и будущие расходы и доходы, а также перспективы развития, что в итоге служит основой принятия эффективных управленческих решений относительно объекта оценки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** налог; земли общего пользования; жилье; садоводство; парковки; функциональное назначение; строительство; земельные участки; хозяйственные здания; локальные коэффициенты; экономико-планировочной зоны.

N.A.Malashevskiy, A.Yu.Palamar

## SOME ASPECTS OF CALCULATION OF STANDARD CASH ASSESSMENT OF SIMILAR (IDENTICAL) REAL ESTATE UNITS

On examples of the parcels of land of the city of Kiev the procedure of payments of a standard cash real estate appraisal as one of the main instruments of maintenance of capital transactions is considered. Information about weak and strengths of objects of assessment is shown that allows to estimate efficiency of its functioning, the current, last and future expenses and the income, and also the prospects of development that as a result forms a basis of acceptance of effective management decisions concerning assessment object.

**KEY WORDS:** tax; lands public; housing; gardening; parkings; functional purpose; construction; parcels of land; economic buildings; local coefficients; economical and planning zone.

Постановка проблемы. Налоговая система является ведущей составляющей системы публичных доходов. Законодательное определение налоговой системы регламентируется положениями статьи 2 Закона Украины «О системе налогообложения» от 25 июня 1991 года [1], в соответствии с которой совокупность налогов и сборов (обязательных платежей) в бюджеты и государственные целевые фонды, взимаемых в установленном законами Украины порядке, составляет систему налогообложения. В этом случае понятие налоговой системы отождествляется с понятием системы налогообложения, а налоговая система рассматривается как совокупность налогов и других обязательных платежей налогового характера.

С другой стороны, налоговая система включает в себя ряд процессуальных отношений по установлению, изменению и отмене налогов, других налоговых платежей, обеспечения их уплаты, организации контроля и применения ответственности за нарушение налогового законодательства.

Развитие рынка недвижимости является гарантией реализации основного конституционного права граждан – права частной собственности: права иметь имущество в собственности; владеть, пользоваться и распоряжаться им по своему усмотрению.

Проблемы с налогообложением недвижимости являются предметом научного исследования многих отечественных и зарубежных авторов. Большинство отечественных ученых освещают отдельные аспекты мирового опыта внедрения налога на недвижимость и определяют перспективы внедрения его в Украине.

Одной из наиболее известных классификаций имущества является его деление на недвижимое и движимое. В данной статье речь пойдет о проблемах нормативной денежной оценки объектов недвижимого имущества, их характерных признаках и вопросах, возникающих на практике. Для сравнения рассмотрим земли для жилой и общественной застройки, а также

земельные участки для садоводства.

Первая - это самостоятельная категория земель среди земель Украины. Она появилась вместо земель населенных пунктов, которые, в соответствии с ранее действующим земельным законодательством, тоже характеризовались самостоятельным правовым режимом. Действующий Земельный кодекс Украины, выделяя эти земли в самостоятельную категорию, посвящает им главу 6, которая включает только 5 статей.

Согласно ст. 38 ЗК Украины [7], к землям жилой и общественной застройки относятся земельные участки в пределах населенных пунктов, которые используются для размещения жилой застройки, общественных зданий и сооружений, других объектов общего пользования. При определении понятия этих земель законодатель берет за основу два критерия: их местоположение (в пределах населенных пунктов) и целевое назначение (использование для размещения застройки).

Земельные участки для садоводства — это участки, основным целевым назначением которых является закладка и выращивание сада (древесных и кустарниковых плодовых насаждений).

Однако часть предоставленного гражданину земельного участка для садоводства может использоваться для строительства и эксплуатации жилого дома и хозяйственных построек, необходимых для сезонного проживания гражданина и членов его семьи, а также для хранения хозяйственного инвентаря, выращенной продукции и тому подобное. При этом садовый дом не может использоваться для регистрации постоянного места жительства его владельца, поскольку, как правило, земельные участки для садоводства предоставляются за пределами населенных пунктов и не имеют почтового адреса. Следует также отметить, что использование гражданином предоставленного ему для садоводства земельного участка

только для возведения жилого дома и хозяйственных сооружений является нарушением целевого назначения такого земельного участка. Закладка и выращивание многолетних плодовых насаждений являются основным квалифицирующим признаком целевого назначения и целевого использования земельных участков, предоставленных для садоводства.

На сегодняшний день национальная налоговая система Украины только формируется, но существует ряд случаев, свидетельствующих о ее несовершенстве. Именно в налоговом кодексе не учитывается большинство вещей, которые должны существовать и применяться в реальной жизни. В то же время, именно учет всех потребностей при оценке недвижимого имущества дал бы дополнительные поступления в бюджета города.

Связь с важными научными и практическими задачами. Данная тема является наиболее актуальной в период экономического кризиса, так как налоговая система позволяет помочь государству контролировать деятельность предприятий, различных учреждений и организаций, а также восполнять государственный бюджет для выполнения государством своих функций. Целью работы является анализ актуальных проблем налогового законодательства и рассмотрение пути их решения.

**Изложение материала исследования.** Рассмотрим единичный случай разного налогообложения одинаковых объектов. Земельные участки с домами, для которых проведен расчет, находятся на одной улице одного массива.

Первый земельный участок (рис.1) согласно государственного акта о праве собственности на земельный участок имеет площадь 1000 квадратных метров.



Рис.1. Земельный участок для строительства и обслуживания жилого дома, хозяйственных зданий и сооружений

По классификации видов целевого назначения земель, определяющей разделение земель на отдельные виды их целевого назначения, характеризуется собственным правовым режимом, экосистемны-

ми функциями, видом хозяйственной деятельности, типами застройки, типами особо ценных объектов, относится к участкам для строительства и обслуживания жилых домов, хозяйственных зданий и сооружений.

По функциональному назначению относится к землям жилой застройки - 1.00.

Согласно решению Киевского городского совета [2] относится к 326 экономико-планировочной зоне, где базовая стоимость метра квадратного земли составляет 693,32 гривен.

Коэффициент на функциональное использование земли применяется согласно [3].

К рассматриваемому земельному участку применяются следующие локальные коэффициенты на местонахождение земельного участка в пределах экономико-планировочной зоны [2]:

- в зоне магистралей повышенного градообразующего значения - 1.11;
  - в санитарно-защитной зоне 0.93;
  - без теплосети 0.93.

Обобщающий локальный коэффициент будет составлять:

 $1.11 \times 0.93 \times 0.93 = 0.96$ .

Коэффициент индексации денежной оценки [3,4,5] по 2015 г. - 1.249, по 2016 г. - 1.433.

Итак нормативная денежная оценка земельного участка составит:

607×693.32×1.00×0.96×1.249×1.433=723106,53.

Земельный налог для жилья составляет 3% от суммы земельного налога, который берется в размере 1% от нормативной денежной оценки и составляет 216,93 гривен в год.

Второй участок (рис.2) согласно государственного акта о праве собственности на земельный участок также имеет площадь 1000 квадратных метров.



Рис.2. Земельный участок для ведения садоводства

По классификации видов целевого назначения земель, определяющей разделение земель на отдельные виды их целевого назначения, относится к участкам для ведения садоводства. Согласно решению Киевского городского совета [1] имеет шифр аг-

ропроизводственной группы почв - 9в.

Нормативная денежная оценка одного метра квадратного земли для земель сельскохозяйственного назначения [2] составляет 18,621098 гривен.

Коэффициент индексации денежной оценки [4,5,6] по 2015 г. - 1.249, по 2016 г. - 1.20.

Итак, нормативная денежная оценка земельного участка составит:

1000×18.321098×0.96×1.249×1.20=27459,66.

Земельный налог для жилья составляет 3% от суммы земельного налога, который в размере 1% от нормативной денежной оценки составляет 8,23 гривен в год.

На сегодняшний день зафиксированы отдельные случаи, когда соответствующее целевое назначение земельного участка используется для постоянного места проживания. Таким образом, можно сделать вывод, что с одинаковых объектов в одном районе платятся разные налоги, которые имеют существенную разницу в цене.

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведенный расчет налогообложения одинаковых объектов на конкретных примерах показал значительную разницу в денежной оценке. Для формирования государственной налоговой политики

необходимо приводить в соответствие налогообложение, в том числе и указанных объектов, что даст возможность в определенной степени сбалансировать и увеличить поступления в бюджет от платы за землю.

#### Литература

- 1. Закон Украины о системе налогообложения от 1 октября 1991 года Постановлением Верховной Рады Украинской ССР от 25 июня 1991 года N1252-XII с изменениями.
- 2. Рішення Київської міської Ради від 03.07.2014 №23/23 «Про затвердження технічної документації з нормативної грошової оцінки земель міста Києва».
- 3. Порядок нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів (Зареєстр. в Мін. юстиції України 5.04.2006 за №388/12262).
- 4. Податковий кодекс України Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, N13-14, N15-16, N17, ст.112.
- 5. Податковий кодекс України, ст.289, Лист Держземагентства від 14.01.2015 №6-28-022-215/2-15.
- 6. Лист Державної служби з геодезії, картографії та кадастру від 11.01.2016 №6-28-0 22-201/2-16.
- 7. http://pravo ukraine.org.ua/resyrsi/kz/zku/1364-statya-38-opredelenie-zemel-zhilishhnoj-i-obshhestvennoj-zastrojki.

Николай Андреевич Малашевский, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой земельных ресурсов обособленного структурного подразделения институт последипломного образования «Киевского национального университета строительства и архитектуры», тел.097-279-25-26, Украина, г.Киев, Е-таіl: nikolaymal@ukr.net; Алена Юрьевна Паламар, ассистент кафедры геодезии ДВНЗ «Криворожский национальный университет», тел.098-034-98-40, Украина, г.Кривой Рог, Е-таіl: Palamar1alena@gmail.com

#### Уважаемые коллеги!

Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России» совместно с Некоммерческим партнерством «Содействие развитию горной промышленности «Горное дело» проводят в 2017 году следующие мероприятия:

Мероприятие	Место проведе-	Даты проведения
	ния	
Всероссийская научно-практическая конференция «Промышленная безопасность и геолого-маркшейдерское обеспечение работ при добыче углеводородного сырья»	г. Тюмень	27.02.2017 - 03.03.2017
Всероссийская научно-практическая г. Кисловодск конференция «Промышленная безопасность при недропользовании и охрана недр»	г. Кисловодск	22.05.2017 - 27.05.2017
Всероссийская научно-практическая конференция «Рациональ- ное и безопасное недропользование»	г. Сочи	25.09.2017 - 30.09.2017
Всероссийская научно-практическая конференция «Новые тех- нологии при недропользовании»	г. Москва	

Для участия в конференциях приглашены руководители и специалисты Ростехнадзора, Росприроднадзора, министерств и ведомств природоресурсного блока, горно- и нефтегазодобывающих организаций, научных, проектных и учебных организаций.

Получить информацию об условиях участия в указанных мероприятиях можно на сайте www.gorobr.ru, по тел.: (495) 641-00-45; (499) 263-15-55 или e-mail: smr@mwork.su; gorobr@inbox.ru.

Редакция «МВ»

УДК 528.414

Б.Н.Дьяков, М.А.Иванов, Д.А.Быкасов

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПЛАНОВОЙ СЕТИ СГУЩЕНИЯ

Рассмотрены различные схемы плановых геодезических построений и выполнен их сравнительный анализ по точности определения координат пунктов и по их надёжности. В качестве оптимального варианта сетей сгущения и съёмочных сетей предлагается линейно-угловая сеть без измерения примычных углов и состоящая из одного и более замкнутых, прилегающих один к другому многоугольников. Приведены результаты уравнивания различных вариантов реальной полигонометрической сети.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** линейно-угловой ход; линейно-угловая сеть; примычный угол; СКО положения пункта; топологическая надёжность; показатель внутренней надёжности.

B.N.D'yakov, M.A.Ivanov, D.A.Bykasov

### SELECTION OF THE OPTIMAL VARIANT OF THE PLANIMETRIC THICKENING NETWORK

The article describes the various schemes planned geodetic constructions and was carried out a comparative analysis on the accuracy of determining the coordinates of points and their reliability. In an optimal embodiment, the set of networks and network thickening proposed linear network without adjacent angular corners and measurement consisting of one or more closed adjacent to each other polygons. The results of the various adjustment options real polygonometric network.

**KEY WORDS:** linear-angular course, linear-angular network, adjacent angular corner, RMS of provision of point, topological reliability, the rate of internal reliability.







Б.Н.Дьяков

М.А.Иванов Д.А.Е

Д.А.Быкасов

В практике геодезических работ иногда приходится создавать сети сгущения на небольших участках местности при малом количестве исходных пунктов с известными координатами и почти полном отсутствии видимости между ними. Такая ситуация может возникнуть на территории действующих предприятий по добыче полезных ископаемых открытым способом, в сельской местности при проведении кадастровой съёмки или в условиях плотной застройки территории.

Согласно действующим инструкциям координаты пунктов сетей сгущения можно определять как спутниковым методом, так и традиционными способами триангуляции, трилатерации и полигонометрии.

Спутниковый метод в рассматриваемых нами ситуациях сразу отпадает из-за сложностей с организацией работ и их стоимостью, а также из-за неблагоприятных условий для наблюдений спутников; остаются только традиционные способы определения координат.

Современными электронными тахеометрами можно одновременно измерять с достаточно высокой точностью и горизонтальные углы, и расстояния, поэтому их применение позволяет объединить триангуляцию и трилатерацию. При измерении расстояний на пунктах триангуляции или при измерении углов на пунктах трилатерации получается новый вид геодезических построений — треугольная линейно-угловая

сеть со всеми измеренными элементами (рис.1-а); дальше в тексте и в таблицах она фигурирует под номером 1.

Такая сеть имеет максимально возможное количество избыточных измерений, а потому ошибка определения координат в ней имеет наименьшее значение по сравнению с другими способами. Кроме высокой точности определения координат треугольная линейно-угловая сеть обладает максимальным значением параметра топологической надёжности, так как в каждом пункте сети сходятся до 6 линий, по которым выполнены и угловые, и линейные измерения; грубая ошибка любого измерения может быть обнаружена, вычислена и оценена с высокой степенью вероятности [1]. Напомним, что параметр топологической надёжности выражается дробью, знаменатель которой равен количеству измеренных элементов в сети, а числитель – количеству измерений, грубую ошибку в которых можно обнаружить и оценить; максимальное значение этой дроби равно единице.

Линейно-угловая сеть, включающая четырёхугольники или шестиугольники, также обладает максимальным значением параметра топологической надёжности, но количество избыточных измерений в ней несколько меньше, а ошибка определения координат несколько больше, чем в треугольной сети (рис1-б); дальше этот вариант сети фигурирует под номером 2.

Если в линейно-угловой сети имеются пункты, в которых сходятся всего две стороны, то параметр её топологической надёжности уменьшается, и при уравнивании сети некоторые комбинации грубых ошибок могут быть выявлены с меньшей вероятностью или не выявлены вовсе; количество избыточных измерений в ней также уменьшается, а ошибка определения координат увеличивается. Такую сеть можно назвать произвольной линейно-угловой сетью.

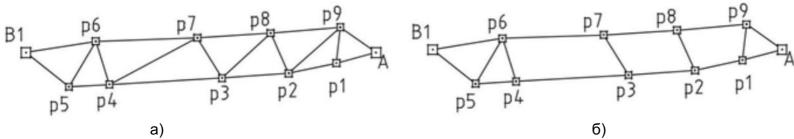


Рис.1. Линейно-угловая сеть с высокой топологической надёжностью (P = 1): а) треугольная сеть; б) сеть с четырёхугольниками

Для определения координат пунктов сети сгущения можно проложить через них стандартный разомкнутый полигонометрический ход. Согласно инструкции, такой ход должен начинаться и заканчиваться на пунктах с известными координатами, на которых необходимо измерять примычные углы (рис.2 - а, б). Применение замкнутого хода с одним исходным пунктом и одним примычным углом инструкцией запрещено [2].

Применению стандартного разомкнутого хода препятствует необходимость наблюдать удалённые исходные пункты при измерении примычных углов, что требует перефокусировки зрительной трубы. Однако, инструкция [2] запрещает изменять фокусировку зрительной трубы во время всего приёма измерения угла. К тому же на участке работ вообще может не быть исходных пунктов для измерения примычных углов; в этом случае разомкнутый ход становится ходом с координатной привязкой, применение которого инструкцией также запрещено.

В статьях [3] и [4] для определения координат сетей сгущения и съёмочных сетей предлагается применять замкнутый ход с двумя исходными пунктами внутри хода и без измерения примычных углов (рис.2-в). Теоретически такой ход является разновидностью линейно-углового хода с координатной привязкой, но в нём, в отличие от обычного хода с координатной привязкой, выполняется контроль угловых измерений. Параметр топологической надёжности линейно-угловых ходов в отличие от линейно-угловых сетей значительно меньше единицы, и поиск грубых ошибок измерений в них часто невозможен.

Замкнутый линейно-угловой ход с двумя исходными пунктами внутри хода является простейшим вариантом линейно-угловой сети, так как его можно получить из линейно-угловой сети, если исключить из неё все диагональные стороны.

Таким образом, реальным вариантом создания сети сгущения остаётся только произвольная линейно-угловая сеть в различных своих модификациях от замкнутого хода до треугольной линейно-угловой сети; количество избыточных измерений и показатель топологической надёжности в них будут различными.

Для практической проверки наших рассуждений выполнен эксперимент по созданию сети сгущения на ограниченном участке застроенной территории. На этом участке есть два исходных пункта, и между ними существует прямая видимость; после тщательной рекогносцировки были заложены девять определяемых

пунктов. Через участок протекает река Смоленка; пункты A, p1, p2, p3, p4, p5 расположены на левом берегу реки, пункты B, p6, p7, p8, p9 — на правом берегу (рис.2).

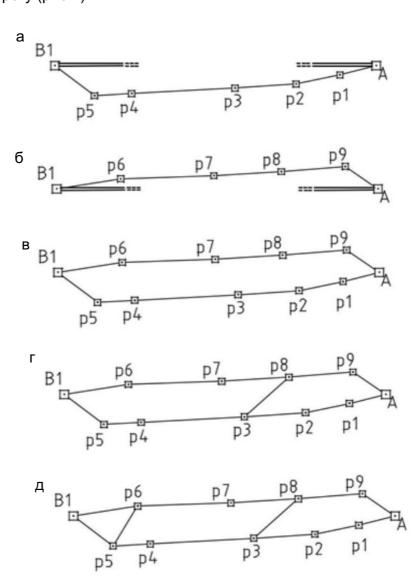


Рис.2. Варианты схем сети сгущения

В полученной сети выполнены все доступные измерения: измерение углов с ошибкой 2" и измерение сторон с ошибкой 1 см. Для вычисления координат пунктов сети из выполненных измерений были сформированы следующие варианты построений:

- два стандартных разомкнутых линейноугловых хода: вариант 3 - ход номер 1 (рис.2 - а) и вариант 4 - ход номер 2 (рис.2 - б);
  - замкнутый линейно-угловой ход с двумя исход-

ными пунктами внутри хода - вариант 5 (рис.2 – в);

- замкнутый линейно-угловой ход с одной диагональной стороной – вариант 6 (рис.2 – г);
  - замкнутый линейно-угловой ход с двумя диа-

гональными сторонами – вариант 7 (рис.2 – д).

Общие характеристики вариантов сети приведены в табл.1.

Таблица 1

Номер	Значения числовых характеристик вариантов сети											
варианта сети - Р	$n_{\beta}$	$n_S$	$n_u$	n	k	t	$\mu_0 / \mu$					
1 - 55/55	2	19	9	55	27	28	2" / -					
2 - 46/46	2	16	9	46	27	19	2" / -					
3 - 0/13	7	6	-	13	10	3	2" / - 10,7"					
4 - 0/11	6	5	-	11	8	3	2" / - 5,0"					
5 - 0/22	11	11	-	22	18	4	2" / - 2,8"					
6 - 7/27	9	12	2	27	20	7	2" / - 3,4"					
7 – 12/30	8	13	3	30	21	9	2" / - 3,1"					

Обозначения: Р – параметр топологической надёжности;  $n_{\rm B}$  - количество измеренных углов;  $n_{\rm S}$  - количество изме

ренных сторон;  $n_u$  - количество узловых точек; n - общее количество измерений; k - количество неизвестных, при уравнивании направлений на каждой узловой точке возникает дополнительное неизвестное — поправка ориентирования нулевого диаметра; t - количество избыточных измерений,  $\mu_0$  - ошибка единицы веса до уравнивания, за ошибку единицы веса принята ошибка измерения угла 2",  $\mu$  - ошибка единицы веса по результатам уравнивания.

При измерении примычных углов в разомкнутых ходах номер 1 и 2 пришлось изменять фокусировку зрительной трубы; возможно, это явилось причиной больших угловых невязок: в разомкнутом ходе номер 1 – 41,4" при допуске 13,2", в ходе номер 2 – 19.6" при допуске 12.2". В замкнутом ходе, в котором нет примычных углов (вариант 5), угловая невязка равна 5,1" при допуске 16,6". В линейно-угловой сети с одной диагональной стороной (вариант 6) угловые невязки равны: в одном многоугольнике 7,3" при допуске 13,2", в другом – 4,9" при допуске 12.2".

Уравнивание всех вариантов сети выполнено с помощью некоммерческого пакета прикладных программ NAL\_GR [5]; для контроля некоторые варианты обработаны программой CREDO; сходимость результатов практически абсолютная. Увеличение ошибки единицы веса по результатам уравнивания связано, по-видимому, с тем, что веса расстояний, измеренных с ошибкой 1 см, в четыре раза больше весов углов, и при вычислении квадратичной формы влияние по-

правок в длины сторон увеличивается в четыре раза. Как следствие этого, ошибки положения пунктов из уравнивания также оказались несколько больше их предрасчётных значений; в таблице 2 приведены значения СКО положения определяемых пунктов.

Если принять ошибку измерения сторон сети 2 см, то веса углов и сторон станут одинаковыми (равными единице), и результаты уравнивания разных вариантов сети существенно улучшатся. Так, ошибка единицы веса из уравнивания становится равной: в варианте 5 - 1,7" вместо 2,8", в варианте 6 - 2,2" вместо 3,4", в варианте 7 - 2,1" вместо 3,1" (табл.1). Эти цифры позволяют предположить, что фактическая точность линейных измерений оказалась ниже объявленной.

В варианте 7 программа NAL\_GR обнаружила грубую ошибку в направлении p6 – p5 на пункте p6 величиной около 13"; это направление пришлось исключить из дальнейшей обработки.

Таблица 2

Номер	СКО положения пунктов сети, см: предрасчётная / из уравнивания												
варианта сети	p1	p2	р3	p4	p5	p6	р7	p8	р9				
1	0,2 / -	0,3 / -	0,4 / -	0,4 / -	0,3 / -	0,3 / -	0,4 / -	0,4 / -	0,2 / -				
2	0,4 / -	0,6/-	0,8 / -	0,5 / -	0,4 / -	0,4 / -	0,7 / -	0,6 / -	0,4 / -				
3	0,9/4,7	1,1/5,8	1,1/6,1	1,1/5,6	0,7/3,8	-	-	-	-				
4	-	-	-	-	-	0,9/2,2	1,1/2,7	1,0/2,6	0,7/1,8				
5	0,9/1,3	1,1/1,6	1,2/1,6	1,1/1,5	0,8/1,1	0,9/1,2	1,1/1,5	1,1/1,5	0,8/1,1				
6	0,9/1,6	1,0/1,8	0,8/1,5	0,9/1,7	0,6/1,2	0,9/1,6	1,0/1,8	0,7/1,4	0,5/1,0				
7	0,9/1,5	1,0/1,7	0,8/1,4	0,9/1,6	0,4/0,8	0,5/1,0	0,9/1,6	0.7/1,3	0,5/1,0				

Как известно, в геодезической сети вычисляют два показателя надёжности: для каждого измерения — показатель внутренней надёжности, и для каждого определяемого параметра — показатель внешней надёжности [6]. Численное значение показателя внутренней надёжности  $t_i$  является некоторой границей: если истинная ошибка измерения  $\Delta_i$  больше значения  $t_i$  ( $\Delta_i \geq t_i$ ), то она теоретически может быть обнаружена и оценена с помощью какого-либо теста; если же  $\Delta_i \leq t_i$ , то такая ошибка в принципе не может быть выявлена, и в процессе уравнивания она будет искажать выходные параметры геодезической сети. Чем меньше численное значение показателя внут-

ренней надёжности измерения, тем больше вероятность обнаружения грубой ошибки этого измерения.

Показатели внешней надёжности учитывают влияние невыявленных при уравнивании ошибок измерений на уравненные значения элементов сети.

Общими измерениями во всех вариантах исследуемой линейно-угловой сети являются измерения сторон, и в табл. З приведены значения их показателей внутренней надёжности, вычисленные программой NAL\_GR (жирным шрифтом выделены измерения, возможные грубые ошибки которых можно однозначно обнаружить и оценить). Для остальных измерений показатели надёжности имеют формальный характер.

Таблица 3

Номер		Показатели внутренней надёжности измеренных сторон, см											
вар. сети	A-p1	p1-p2	p2-p3	p3-p4	p4-p5	р5-В	B-p6	p6-p7	p7-p8	p8-p9	p9-A	p3-p8	p5-p6
1	2,8	2,9	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,9	-
2	3,0	3,6	3,6	3,5	2,9	3,0	3,1	3,6	3,5	3,5	3,0	-	3,0
3	6,0	6,1	6,5	6,6	6,6	4,0	-	-	-	-	-	-	-
4	7-	-	1-0	-	-	-	5,8	6,0	6,0	6,0	4,8	-	-
5	6,2	6,3	6,6	6,6	6,6	4,6	5,8	6,0	6,0	5,9	4,8	· -	0 <b>-</b> 0
6	5,3	5,4	5,3	5,3	5,3	3,6	5,2	5,3	5,3	4,7	3,3	3,3	_
7	5,3	5,3	5,3	4,8	4,8	3,1	3,3	4,6	4,6	4,6	3,3	3,2	3,0

Наименьшие значения показателя внутренней надёжности, как и следовало ожидать, наблюдаются в вариантах сети 1 и 2, в то время как в вариантах 3,4,5 даже формальные значения показателей в два раза больше. Что касается вариантов 6 и 7, то в них уже появляются доброкачественные с точки зрения надёжности измерения, и чем больше в линейно-угловой сети диагональных сторон, тем больше таких измерений. Другими словами, включение в замкнутый ход диагональных сторон приводит к увеличению числа избыточных измерений в сети, уменьшению ошибок положения пунктов и улучшению топологической надёжности сети в целом.

Таким образом, выбор оптимальной схемы сети сгущения или съёмочной сети при их проектировании ограничен вариантами линейно-угловой сети. Поскольку наиболее точная и надёжная треугольная линейно-угловая сеть требует открытия видимостей по всем сторонам сети, то оптимальной схемой может оказаться линейно-угловая сеть произвольной формы, в которой по сравнению с треугольной сетью часть сторон будет отсутствовать. Количество исходных пунктов такой сети должно быть не менее двух, и

их расположение внутри сети должно быть более или менее равномерным. Примычные углы измерять необязательно.

Авторы считают, что раздел о линейно-угловых сетях необходимо включить в соответствующие инструкции, СНИПы и учебные пособия.

#### Литература

- 1.Трушко В.Л., Дьяков Б.Н. Топологическая надёжность маркшейдерских геодезических сетей / Записки горного института. СПГГИ, Санкт-Петербург, вып. 180, 2009. С. 199-203.
- 2. Инструкция по полигонометрии и трилатерации. М., "Недра", 1976, 104 с.
- 3. Дьяков Б.Н., Фёдорова Н.В. Проблема примычных углов в системах линейно-угловых ходов. Геодезия и картография. 2000. №10.
- 4. Дьяков Б.Н. Перспективы применения линейноугловых ходов. Маркшейдерский вестник, 2010, - №6, с.14-15.
- 5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610718, 25.03.05.
- 6. Маркузе Ю.И. Основы уравнительных вычислений: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Недра, 1990. 240 с.

Борис Николаевич Дьяков, канд.техн.наук, доцент кафедры инженерной геодезии, тел.8-911-908-38-15, E-mail: boris21937@mail.ru; Максим Александрович Иванов, студент, тел. 8-931-541-05-48, E-mail: ivanov2896@yandex.ru;

Дмитрий Александрович Быкасов, студент, тел. 8-967-539-60-42 (Санкт-Петербургский горный университет)

УДК 519.688

О.Н.Вылегжанин, С.А.Рыбалка

## РАСЧЕТ КООРДИНАТ НЕИЗВЕСТНОЙ ТОЧКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИРЕКЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Предлагаются методы решения классических базовых задач геодезии путем формирования и решения систем линейных уравнений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геодезия; маркшейдерия; метод; измерения; точность; угол; дистанция; точка; система линейных уравнений.

O.N. Vylegzhanin, S.A. Rybalka

## THE EVALUATION OF THE COORDINATES OF UNKNOWN POINT FROM THE RESULTS OF DIRECTIONAL MEASUREMENTS

The methods of classical solutions of basic surveying tasks by forming and solving systems of linear equations **KEY WORDS:** geodesy, mine surveying; geodetic; method; measurement; accuracy; angle; distance; point; linear equations system.

При всем многообразии задач, решаемых в геодезии и маркшейдерии и уровней их сложности, «на дне» геодезической задачи, как правило, лежит задача оценки координат неизвестной точки по результатам измерения расстояний и направлений на эту точку из точек с известными координатами.

Как известно [5], существует большое количество предложенных методов решения данной задачи, различающихся трудоемкостью, сложностью и точностью полученного решения.

Применение вычислительной техники снимает вопрос трудоемкости и сложности решения. Что касается точности оценки, то основное средство ее повышения - это увеличение количества измерений, выполненных сверх минимально необходимых для получения решения [3, 6], а также использование эффективных оценок измеряемых величин [1, 4]. Кроме того, представляется целесообразной разработка «универсальных подходов к решению возможно более широкого круга геодезических задач» [7].

В настоящей работе предложен метод решения задачи определения координат неизвестной точки по результатам дирекционных измерений, выполненных на эту точку из произвольного множества точек с известными координатами. Решение строится из предположения, что координаты точек и углы заданы в декартовой системе координат и расстояния между точками относительно малы, то есть не учитывается искривление земной поверхности.

**Постановка задачи**. Пусть для точек с известными координатами  $X_i$  (i = 1,2,...,n) определены направления  $P_i$  на точку с неизвестными координатами  $X_z$ . Требуется определить координаты неизвестной точки.

Для решения этой задачи методами линейной алгебры можно сформировать несколько вариантов построения системы линейных уравнений (СЛАУ).

**Вариант 1**. Координаты известной точки  $X_i$  и измеренный из нее вектор направления  $P_i$  на неизвестную точку  $X_Z$  определяют уравнение прямой,

проходящей через точки  $X_{z}$  и  $X_{i}$ :

$$X_Z = X_i + d_i \cdot P_i \,, \tag{1}$$

где  $X_{\rm Z}$  – координаты произвольной точки, принадлежащей данной прямой,  $d_i$  – скаляр, определяющий расстояние от точки  $X_i$  до  $X_{\rm Z}$ . Минимально необходимое количество измерений для определения координат неизвестной точки равно двум (точка пересечения двух лучей, исходящих из  $X_1$  и  $X_2$  на  $X_2$ ).

Рассмотрим возможные способы решения этой задачи. Пусть в выражении (1) i=1,2 . Тогда из уравнений  $X_Z=X_1+d_1\cdot P_1$  и  $X_Z=X_2+d_2\cdot P_2$  следует, равенство:

$$X_1 + d_1 \cdot P_1 = X_2 + d_2 \cdot P_2$$
, (2)

которое после простых преобразований можно привести к системе линейных уравнений вида:

$$P_{12} \cdot D = X', \tag{3}$$

где  $P_{12}=\left(P_{1},-P_{2}\right)$ , матрица с известными коэффициентами, первый столбец которой есть вектор направления  $P_{1}$ , а второй столбец — вектор  $P_{2}$ , взятый со знаком минус,  $X'=X_{2}-X_{1}$  — вектор правой части,

$$D = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}$$
 — подлежащий определению вектор  $D$ , со-

ставленный из искомых коэффициентов. В таком случае возможным решением задачи (3) будет оценка:

$$\bar{D} = P_{12}^+ \cdot X' \,, \tag{4}$$

где  $P_{12}^+$  – матрица, псевдообратная к  $P_{12}$ . Отметим, что  $\bar{D}$  (4) является оценкой точного решения, найденного методом наименьших квадратов, а следовательно несмещенной, состоятельной и эффективной [1].

При выводе решения задачи исходили из предположения (2) о существовании пересечения прямых  $X_Z = X_1 + d_1 \cdot P_1$  и  $X_Z = X_2 + d_2 \cdot P_2$ . Но из-за возмож-

ных погрешностей определения векторов направлений  $P_1$  и  $P_2$  на неизвестную точку прямые могут не пересекаться, а только скрещиваться. Учитывая это обстоятельство, изменим постановку задачи следующим образом.

**Вариант 2**. Будем считать, что заданы точки  $X_1$  и  $X_2$ , а также векторы  $P_1$  и  $P_2$ , определяющие прямые вида (1). Для решения задачи найдем такие точки на этих прямых, расстояние между которыми будет минимальным.

Зададим функцию  $I(d_1,d_2)$ , определяющую расстояние между двумя точками, лежащими на двух прямых, в виде:

 $I(d_1,d_2) = (X_1 + d_1 \cdot P_1 - X_2 - d_2 \cdot P_2)^T \cdot (X_1 + d_1 \cdot P_1 - X_2 - d_2 \cdot P_2)$ , (5) где неизвестными являются скаляры  $d_1$  и  $d_2$ . Раскрыв скобки и выполнив перемножение слагаемых в (5), получим:

$$I(d_1, d_2) = X_1^T \cdot X_1 + d_1^2 \cdot P_1^T \cdot P_1 + X_2^T \cdot X_2 + d_2^2 \cdot P_2^T \cdot P_2 + 2d_1 \cdot X_1^T \cdot P_1 -$$
(6

$$-2X_{1}^{T} \cdot X_{2} - 2d_{2} \cdot X_{1}^{T} \cdot P_{2} - 2d_{1} \cdot X_{2}^{T} \cdot P_{1} - 2d_{1}d_{2} \cdot P_{1}^{T} \cdot P_{2} + 2d_{2} \cdot X_{2}^{T} \cdot P_{2} \cdot P_{2}$$

Поскольку функция (5) выпуклая, необходимым и достаточным условием экстремума для нее является равенство нулю частных производных по аргументам [2]. Найдем частные производные этой функции по  $d_1$  и  $d_2$ :

$$\frac{\partial I(d_1, d_2)}{\partial d_1} = 2d_1 P_1^T \cdot P_1 - 2(X_2 - X_1)^T \cdot P_1 - d_2 \cdot P_1^T \cdot P_2$$

И

$$\frac{\partial I(d_1, d_2)}{\partial d_2} = 2d_2 P_2^T \cdot P_2 - 2(X_2 - X_1)^T \cdot P_2 - 2d_1 P_1^T \cdot P_2$$

Приравняв их к нулю и разрешив относительно  $d_1$  и  $d_2$  , получим систему уравнений:

$$\begin{cases} d_1 \cdot P_1^T \cdot P_1 - d_2 \cdot P_1^T \cdot P_2 = (X_2 - X_1)^T \cdot P_1 \\ -d_1 \cdot P_1^T \cdot P_2 + d_2 \cdot P_2^T \cdot P_2 = (X_2 - X_1)^T \cdot P_2 \end{cases}$$
 (7)

Поскольку можно записать  $d_i \cdot P_i = (d_i \cdot \gamma) \cdot (1/\gamma \cdot P)_i$ , где  $\gamma$  – произвольный множитель, то можно выбрать такую нормировку  $d_i$ , для которой  $P_i^T \cdot P_i = 1$ , и тогда справедливо  $d_1 - d_2 a = B^T \cdot P_1$  и  $d_2 - d_1 a = B^T \cdot P_2$ , где  $a = P_1^T \cdot P_2$  – известная скалярная величина и  $B = X_2 - X_1$  – известный вектор. Отсюда следует  $d_1 = \frac{B^T \cdot (P_1 - a \cdot P_2)}{1 - a^2}$  и  $d_2 = \frac{B^T \cdot (P_2 - a \cdot P_1)}{1 - a^2}$ .

Решения не существует при a=1, что соответствует параллельности направлений  $P_1$  и  $P_2$ . При этом вывод решения не зависит от размерности пространства оценок, т.е. одинаков и для планарной, и для пространственной задачи.

Подставив полученные значения  $d_1$  и  $d_2$  в соответствующие уравнения вида (1), получим две оценки вектора искомых координат в виде:

$$X_{Z}^{(1)} = X_{1} + \frac{(X_{2} - X_{1})^{T} \cdot (P_{1} - P_{1}^{T} \cdot P_{2} \cdot P_{2})}{1 - P_{1}^{T} \cdot P_{2}} \cdot P_{1},$$

$$X_Z^{(2)} = X_2 + \frac{(X_2 - X_1)^T \cdot (P_2 - P_1^T \cdot P_2 \cdot P_1)}{1 - P_1^T \cdot P_2} \cdot P_2.$$
 (8)

В двумерном случае прямые обязательно пересекутся  $^1$ . В пространственном случае прямые либо пересекаются, либо, из-за погрешностей измерений, скрещиваются. Тогда решения (8) не совпадают, и в качестве искомой можно принять среднюю точку между  $X_Z^{(1)}$  и  $X_Z^{(2)}$ , т.е.  $\bar{X} = (X_Z^{(1)} + X_Z^{(2)})/2$ .

Обобщение на случай N>2 измерений. Полученные решения (4) и (7) легко обобщить на случай произвольного количества известных точек  $X_i$ . Если i=1,...,n , то из выражения (2) получим:

$$X_i + d_i \cdot P_i = X_j + d_j \cdot P_j$$
,  $(i, j = 1, ..., n)$ ,  $i \neq j$ .

Всего таких равенств можно получить  $C_n^2 = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$  , т.е. число сочетаний из n по 2. Каждая

пара точек  $X_i$  и  $X_j$  даст уравнение вида (2), соответственно система линейных уравнений (3) преобразуется в:

$$\tilde{P} \cdot \tilde{D} = \tilde{X} \,, \tag{9}$$

где матрица системы

$$\tilde{P} = \begin{vmatrix} P_1 & -P_2 & 0 & \dots & 0 \\ P_1 & 0 & -P_3 & \dots & 0 \\ & & \vdots & & & \\ P_1 & 0 & \dots & & -P_n \\ & & \vdots & & & \\ 0 & \dots & 0 & P_{n-1} & -P_n \end{vmatrix},$$

вектор правой части

$$\widetilde{X} = \begin{vmatrix} X_2 - X_1 \\ X_3 - X_1 \\ \vdots \\ X_n - X_{n-1} \end{vmatrix},$$

а вычисляемый вектор неизвестных равен:

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Если они не параллельны, конечно. Но в этом случае и нет решения.

$$\widetilde{D} = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{vmatrix}$$

При этом также оценка вектора неизвестных  $\widetilde{D}$  может быть получена в виде  $D = \widetilde{P}^+ \cdot \widetilde{X}$  .

Аналогично, выражение (6) для множества точек с известными координатами можно преобразовать в выражение:

$$I(d_i,d_j) = X_i^T \cdot X_i + d_i^2 \cdot P_i^T \cdot P_i + X_j^T \cdot X_j + d_j^2 \cdot P_j^T \cdot P_j + 2d_i \cdot X_i^T \cdot P_i -$$
 
$$-2X_i^T \cdot X_j - 2d_j \cdot X_i^T \cdot P_j - 2d_i \cdot X_j^T \cdot P_i - 2d_i d_j \cdot P_i^T \cdot P_j + 2d_j \cdot X_j^T \cdot P_j,$$
 где  $i=1,...,n-1$ ,  $j=i+1,...,n$ . Всего таких функций

где i=1,...,n-1, j=i+1,...,n. Всего таких функций можно получить  $C_n^2$ . Вычислив частные производные от этих выражений, получим:

$$\frac{\partial I(d_i, d_j)}{\partial d_i} = 2d_i P_i^T \cdot P_i - 2(X_j - X_i)^T \cdot P_i - d_j \cdot P_i^T \cdot P_j,$$

а приравняв их к нулю, приходим к системе уравнений вида (8), где матрица системы

$$\tilde{P} = \begin{vmatrix} P_1^T \cdot P_1 & -P_1^T P_2 & 0 & \dots & 0 \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & -P_1^T P_3 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & & \\ P_1^T \cdot P_1 & 0 & \dots & 0 & -P_1^T P_n \\ & & \vdots & & & \\ 0 & \dots & 0 & P_{n-1}^T P_{n-1} & -P_{n-1}^T P_n \end{vmatrix},$$

вектор правой части

$$\widetilde{X} = \begin{vmatrix} (X_2 - X_1)^T \cdot P_1 \\ (X_3 - X_1)^T \cdot P_1 \\ \vdots \\ (X_n - X_{n-1})^T \cdot P_{n-1} \end{vmatrix},$$

а вычисляемый вектор неизвестных так же

$$\widetilde{D} = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{vmatrix}.$$

Для решения таких переопределенных систем можно использовать численные методы, например, применение обобщенной обратной или псевдообратной матрицы [2].

Численные решения для предложенных методов

В качестве демонстрационного примера приме-

нения предложенных методов для решения задачи с угловыми измерениями приведем следующие расчеты. Пусть заданы две известные пространственные точки  $X_1 = \begin{pmatrix} 100,\ 0,100 \end{pmatrix}^T, \quad X_2 = \begin{pmatrix} 25,-56.699,\ 8.579 \end{pmatrix}^T,$  а измеренные пары углов горизонтальный и вертикальный  $(\alpha_1,\beta_1)=(60^\circ,45^\circ)$  для первой точки  $X_1$  и  $(\alpha_2,\beta_2)=(45^\circ,45^\circ).$  В таком случае векторы направлений будут равны  $P_1=\begin{pmatrix} 0.354,\ 0.612,\ 0.707 \end{pmatrix}^T,$   $P_2=\begin{pmatrix} 0.5,\ 0.5,\ 0.707 \end{pmatrix}^T,$  а матрица системы и вектор правой части, сформированные по *Варианту* 1, будут равны:

$$\tilde{P} = \begin{vmatrix} -0.354 & 0.5 \\ -0.612 & 0.5 \\ 0.707 & 0.707 \end{vmatrix}, \quad \tilde{X} = \begin{vmatrix} 75 \\ 56.699 \\ 91.421 \end{vmatrix}.$$

Решив полученную систему, получим  $\bar{D} = \big(70.711, 200\big)$  .

Составив систему уравнений по формуле (8) (по Варианту 2), получим матрицу системы и вектор правой части, равные:

$$\tilde{P} = \begin{vmatrix} 1 & -0.983 \\ -0.983 & 1 \end{vmatrix}, \ \tilde{X} = \begin{vmatrix} -125.882 \\ 130.494 \end{vmatrix}.$$

Решение этой системы  $\bar{D} = (70.711, 200)$  совпадает с решением по *Варианту* 1 с точностью до тринадцатого знака после запятой.

Подставив эти два значения в выражение (1), для двух вариантов получили четыре оценки координат неизвестной точки  $\bar{X}_z$ :  $X_Z^{(1,2,3,4)} = \left(125,43.301,150\right)^T$ , близкие к координатам тестовой неизвестной точки  $X_Z$ . В качестве тестовой задавалась точка с координатами  $X_Z = \left(125,43.301,150\right)$ . Максимальное уклонение найденных оценочных значений от тестовой точки для Bapuahma 1 равно  $3.22\cdot10^{-13}$ , а для Bapuahma 2 —  $3.059\cdot10^{-11}$ . То есть отклонение сравнимо с машинной точностью вычислений.

В качестве демонстрационного примера решения задачи для количества известных точек более двух были взяты четыре точки:  $X_1 = (100,\ 0,\ 100)^T$  ,  $X_2 = (200,\ 0,\ 000)^T$  ,  $X_3 = (25,-56.699,\ 8.579)^T$  ,  $X_4 = (150,\ 0,\ 100)^T$  , а измеренные пары углов горизонтальный и вертикальный  $(\alpha_1,\beta_1)=(60^\circ,45^\circ)$  для первой точки  $X_1$   $(\alpha_2,\beta_2)=(150^\circ,30^\circ)$  ,  $(\alpha_3,\beta_3)=(45^\circ,45^\circ)$  ,  $(\alpha_4,\beta_4)=(120^\circ,45^\circ)$  , соответственно, для остальных точек. В таком случае векторы

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Значения указаны с точностью до третьего знака.

направлений  $P_i$  получились равными:  $P_1 = \left(0.354,\ 0.612,\ 0.707\right)^T$  ,  $P_2 = \left(-0.75,\ 0.433,\ 0.5\right)^T$  ,  $P_3 = \left(0.5,\ 0.5,\ 0.707\right)^T$  ,  $P_4 = \left(-0.354,\ 0.612,\ 0.707\right)^T$  . Были составлены СЛАУ для Bapuahma 1 и Bapuahma 2 и найдены оценки  $\bar{X}_Z$  для каждого решения, близкие к исходной точке  $X_Z$ . Длина вектора уклонения решения сравнима с точностью вычислений:  $|\bar{X}_Z - X_Z| < 10^{-12}$  .

#### Литература

- 1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных: справочное издание. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 471 с.
- 2. Амосов А.А. Вычислительные методы. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 672 с.
  - 3. Большаков В.Д., Маркузе Ю.И., Голубев В.В. Урав-

нивание геодезических построений. — М.: Недра, 1989. — 413 с.

- 4. Вержбицкий В.М. Численные методы (линейная алгебра и нелинейные уравнения): Учеб. Пособие для вузов. М.: Директ-Медиа, 2013. 432 стр.
  - 5. Задача Потенота [Электронный ресурс] Режим доступа:

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0\_%D0%9F%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%82%D0%B0, свободный ресурс.

- 6. Маркузе Ю.И., Голубев В.В. Теория математической обработки геодезических измерений. М.: Академический проект, 2010. 247 с.
- 7. Медведев П.А. Теория и методология повышения эффективности и точности решения главных геодезических задач на поверхности эллипсоида и в пространстве Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat, 2010 Режим доступа: http://www.dissercat.com/content/teoriya-i-metodologiya-povysheniya-effektivnosti-i-tochnosti-resheniya-glavnykh-geodezicheks#ixzz45DTJFcZK свободный ресурс.

Олег Николаевич Вылегжанин, канд.хим.наук, доцент, E-mail: onv@am.tpu.ru;

Сергей Анатольевич Рыбалка, канд.техн.наук, доцент, E-mail: fishing@am.tpu.ru, rybalka@tpu.ru,

тел.com.: +7–961–098–49–23, раб.: (382–2)606–138 (Томский политехнический университет, Институт Кибернетики, кафедра Прикладной математики)

### Уважаемые коллеги!

Компания «АСЭРГРУПП» при поддержке Государственной Думы ФС РФ, Министерства экономического развития РФ, Торгово-промышленной палаты РФ, Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Министерства регионального развития РФ, Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, а также ряда отраслевых агентств приглашает Вас принять участие в работе XIII Всероссийского Конгресса «Государственное регулирование недропользования 2016», который состоится 5-7 декабря 2016 г. в Москве, в отеле «Балчуг Кемпински Москва».

В ходе конгресса особое внимание будет уделено главным нормативным новациям 2016-2017 гг., непосредственно влияющим на условия недропользования:

- актуализация лицензий до 31 декабря 2016 года;
- изменения в процедурах конкурсов и аукционов по предоставлению участков недр.

Кроме того, можно будет узнать во всех подробностях об изменениях в регулировании горных отводов, новой классификации запасов твердых полезных ископаемых, нефти и газа, и подходах к их экономической оценке, а также новых правилах проектирования месторождений.

Программа конгресса сформирована из трех самостоятельных конференций: «Лицензирование пользования недрами. Вопросы организации и проведения аукционов или конкурсов на право геологического изучения недр и добычи полезных ископаемых», «Практические вопросы нормативного и организационного обеспечения рационального недропользования. Проекты планировки. Судебная практика» и «Все о добыче подземных вод и общераспространенных полезных ископаемых (ОПИ). Участки недр местного значения».

К участию в Конгрессе в качестве спикеров и экспертов приглашены директора, руководители Управлений и отделов министерств и ведомств, ведущие юристы, главные консультанты и эксперты от государственных и коммерческих структур.

Дополнительную информацию можно получить по телефонам (495) 971-5681, (495) 988-6115, по адресу электронной почты info@asergroup.ru, на сайте Конгресса www.nedra.asergroup.ru

Редакция «МВ»

УДК 550.311; 622.276

Ю.О.Кузьмин, Е.А.Фаттахов

## ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

Предлагается метод тензометрического анализа временной структуры горизонтальных смещений земной поверхности на геодинамических полигонах, расположенных в нефтегазоносных районах и обладающих существенным сейсмическим потенциалом. Показано, что высокоамплитудные, знакопеременные изменения угла между осью главной максимальной деформации сжатия (или минимальной деформации растяжения) и осью местной системы координат, обусловленной геометрией выбранных линий измерений, предшествуют сейсмической или деформационной активизации разломных зон. 

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тензор деформации; тензометрическая розетка; горизонтальные деформации; сейсмическая и деформационная активность; разломная зона.

Yu.O.Kuz'min, E.A.Fattakhov

## TENSOMETRIC METHOD OF THE ANALYSIS OF RESULTS OF OBSERVATIONS ON GEODYNAMIC GROUNDS

The method of the tensometric analysis of temporary structure of horizontal shifts of the land surface on the geodynamic grounds located in oil-and-gas areas and having essential seismic potential is offered. It is shown that high-amplitude, sign-variable changes of a corner between an axis of the main maximum deformation of compression (or the minimum deformation of stretching) and an axis of the local system of coordinates caused by geometry of the chosen lines of measurements precede seismic or deformation activization the of zones of breaks.

**KEY WORDS:** deformation tensor; tensometric socket; horizontal deformations; seismic and deformation activity; zone of breaks.





Е.А.Фаттахов

#### Введение

В соответствии с РД 07 – 603 – 03 (Инструкция по производству маркшейдерских работ, п.264) «проектная документация геодинамического

полигона обеспечивает количественную оценку горизонтальной и вертикальной составляющих векторов движения в исследуемых точках путем заложения геодинамических полигонов (наблюдательных станций) и постановки маркшейдерско-геодезического мониторинга деформационных процессов».

В настоящее время на геодинамических полигонах, организованных на месторождениях УВ и подземных хранилищ газа, наблюдения за горизонтальными смещениями земной поверхности осуществляются методами спутниковой геодезии. Как правило, результаты этих наблюдений отображаются в виде площадного распределения векторов смещений, где амплитуда вектора соответствует величине смещения.

Из геомеханики известно, что при снижении пластового давления, в центральной области пласта амплитуда вертикальных смещений значительно превосходит амплитуду горизонтальных. Амплитуды горизонтальных смещений становятся соизмеримыми с амплитудами вертикальных только в периферийной части месторождения [3, 9, 11, 13, 22]. В этой связи, может сложиться впечатление о незначительной эффективности использования результатов измерения горизонтальной компоненты движений при анализе деформационных процессов, обусловленных процессами разработки месторождений и эксплуатации газохранилищ. Вместе с тем, сосредоточение наблюдений за горизонтальными смещениями в зонах активных разломов, как областях концентрации локального напряженно-деформированного состояния недр, позволяет существенно повысить

качество анализа и интерпретации результатов наблюдений.

В ряде работ по современной геодинамике с использованием ГНСС наблюдений для анализа горизонтальной компоненты смещений земной поверхности использовались инвариантные компоненты тензора деформаций, повышающих информативность результатов наблюдений [7, 20]. Однако в этих работах использовалось большое количество пунктов наблюдений Мировой сети, которые обрабатывались в отсчетной системе ITRF, что затруднительно использовать на геодинамических полигонах, где результаты анализируются и интерпретируются в местной системе координат, поскольку для однозначного выявления техногенных деформаций опорные пункты должны быть вынесены за пределы горного отвода [1].

Вместе с тем, представляется актуальным использовать методы тензометрического анализа результатов наблюдений, которые используются на геодинамических полигонах, нацеленных на изучение процессов подготовки и физики предвестников землетрясений. Ниже представлены результаты такого подхода на примере Копетдагского региона, который является и сейсмоактивным [4], и нефтегазоносным [5].

## Тензометрический анализ горизонтальных смещений земной поверхности в Копетдагском регионе

Исследования современных геодинамических (геодеформационных) процессов в Копетдагском регионе были начаты в 1964 г. в рамках Программы "Изучение современных движений земной коры на стационарных полигонах". Ашхабадский геодинамический полигон был развернут в пределах Центрального Копетдага и, в первую очередь, охватывал очаговую область Ашхабадского катастрофического землетрясения 6 октября 1948 г., а именно, расположен на территории, включающей в себя северный борт Копетдагского антиклинория, Предкопетдагский предгорный прогиб и южный борт Туранской плиты. На полигоне проводятся геодезические (геодинамиче-

ские), геофизические, гидрогеодинамические, геохимические, сейсмические и др. наблюдения. В настоящее время объем и пространственный охват ежегодного геодинамического мониторинга превосходят все другие виды мониторинга (геофизического, гидродинамического и т.д.), и поэтому полигон называется Ашхабадским геодинамическим.

С 1974 г. были организованы первые светодальномерные измерения, которые представляют собой совокупность профильных и площадных систем наблюдений. Деформационная площадка «Гаудан» находится на юге г.Ашхабада и контролирует зону Передового разлома Копетдага (рис.1). Система наблюдений организована таким образом, что одна линия (L 3330) пересекает зону разлома, линия (L 2450) и линия (L 1532) расположены в пределах блока. Номера линий соответствуют их длинам в метрах.

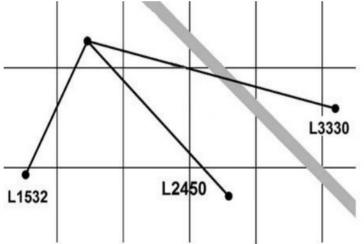


Рис.1. Схема расположения системы светодальномерных наблюдений «Гаудан»

Предыдущие исследования [4, 12, 14, 15, 16] показали, что имеет место полное отсутствие систематического тренда по всем измеряемым линиям на протяжении почти 40 лет. В этой связи были использованы более информативные методы анализа деформационных процессов таких, например, как тензометрический.

Совокупность линий (L1532, L2450, L 3330) образует тензометрическую розетку [19], которая позволяет вычислять инвариантные характеристики деформационного процесса на основе геометрической теории деформаций. Это в первую очередь главные деформации сжатия и растяжения и угол между главными осями и осями локальной системы координат.

За весь период светодальномерных наблюдений (41 год) в окрестности г.Ашхабада зафиксирован ряд землетрясений с магнитудами до 6.5. Для данного исследования были выбраны землетрясения в радиусе 100 км от системы наблюдений и глубиной не более 35 км.

На рис.2 показан временной ход угла  $\phi_0$  в сопоставлении с сейсмическими событиями, которые отмечены вертикальными стрелками и соответствующими номерами: 1 — землетрясение 05.07.1987 г., Мw=4.8, глубина h=33 км, расстояние до системы наблюдений  $\Delta$ =22 км; 2 — землетрясение 24.05.1991 г., Мw=4.5, h=10 км,  $\Delta$ =88 км; 3 — землетрясение 04.02.1997 г., Mw=6.5, h=10 км,  $\Delta$ =94 км; 4 — землетрясение 22.08.2000 г., Mw=5.9, h=10 км,  $\Delta$ =86 км. Данные по сейсмическим событиям взяты с сайта Геологической службы США (http://earthquake.usgs.gov/).



Рис.2. Временной ход угла между осями главных деформаций и осями локальной системы координат. Вертикальными линиями показаны сейсмические события. Цифрами отмечены землетрясения, описанные в тексте

Для последующего анализа временных рядов пропуски были заполнены скользящим средним с шириной окна 48 месяцев. Расчеты выполнялись по специально разработанной программе ABD для ана-

лиза длительных рядов геофизических данных [2].

Из рисунка следует, что перед наступлением сейсмического события значения угла испытывают высокоамплитудные знакопеременные изменения.

Подобный же экспериментальный факт был обнаружен при анализе длительных светодальномерных наблюдений на Камчатке [17, 18, 21].

Аналогичные результаты были отмечены при физическом моделировании деформационных процессов на образцах горных пород [10]. На рис. 3 представлены результаты испытаний образцов известняка под действием квазистатического нагружения. Эксперимент проходил при квазистатическом длительном (около 1 года) одноосном сжатии. Образец кубической формы был изготовлен из монолитных блоков карбонатных пород. Дополнительно регистрировались локальные деформации с помощью тензодатчиков, наклеенных в виде розеток на боковые грани образца. В каждой розетке было по 3 тензодатчика, ориентированных под углами 0, 45 и 90 град. Каждая розетка позволяла контролировать деформацию локального участка площадью примерно 2,5-4 cm<sup>2</sup>.

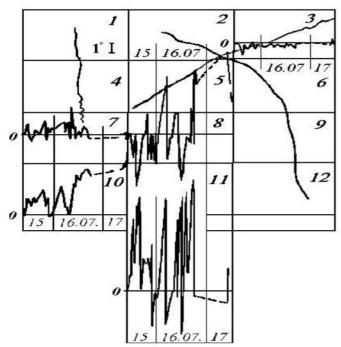


Рис.3. Пространственно-временные изменения угла φ<sub>0</sub> в зоне формирования магистральной трещины (аналога сейсмоактивного разлома)

Для анализа был выбран трехдневный интервал наблюдений, во время которого была отмечены типичные аномальные изменения  $\phi_0$ , которые завершились разрушением образца. Видно, что перед наступлением разрушения величина угла испытывает знакопеременные изменения. При этом, непосредственно перед самим актом разрушения, частота знакопеременных вариаций угла уменьшается.

Касаясь физической трактовки обнаруженного явления, можно сделать следующие предварительные выводы. Знакопеременное изменение угла между главной осью деформации (например, максимального сжатия) и осью локальной системы координат (например, X, вдоль которой устремлена линия 1532) обусловлено собственной локальной динамикой деформационных процессов в зоне Передового разлома Копетдага, индуцированной процессами подготов-

ки землетрясений. Аналогичный механизм подробно описан в [8], которая посвящена особенностям процесса подготовки землетрясения 2.03.1992 г., произошедшего на Камчатке.

#### Заключение

Приведенные результаты демонстрируют возможности тензометрического анализа при изучении горизонтальных смещений земной поверхности. Примечательно, что методами измерений могут быть как наземные (например, тахеометрические), так и спутниковые (ГЛОНАСС/ GPS) повторные геодезические наблюдения.

Важно отметить, что в приведенном выше РД, который регламентирует работы на геодинамических полигонах, полностью отсутствуют требования к проведению мониторинга, когда объект нефтегазового комплекса находится в зоне повышенной сейсмичности. К настоящему времени имеется всего несколько примеров анализа деформационных процессов [6, 22], которые сопровождают подготовку и реализацию техногенных и техногенно-индуцированных землетрясений.

В этой связи, необходимо использовать методы, которые практикуются на геодинамических полигонах, расположенных в зонах повышенной сейсмичности для анализа результатов геодинамических наблюдений на месторождениях УВ, находящихся в сейсмоактивных зонах.

#### Литература

- 1. Грунин А.Г., Кузьмин Ю.О., Фаттахов Е.А. Проблемные вопросы проектирования геодинамических полигонов на месторождениях УВ. // Маркшейдерский вестник. 2014. №6. С.24 – 31.
- 2. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Никольский А.Н., Сидорин А.Я. Технологии анализа геофизических временных рядов. Ч.1. Требования к программе обработки. // Сейсмические приборы. М.: ОИФЗ РАН, 2016. Т.52, N1 С 61-82
- 3. Жуков В.С., Кузьмин Ю.О., Полоудин Г.А. Оценка процессов проседания земной поверхности при разработке газовых месторождений (на примере Северо-Ставропольского месторождения) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, №7. 2002. С.54-57.
- 4. Изюмов С.Ф., Кузьмин Ю.О. Исследование современных геодинамических процессов в Копетдагском регионе // Физика Земли. 2014. №6. С.З 16.
- 5. Изюмов С.Ф., Кузьмин Ю.О. Исследование деформационных процессов на геодинамических полигонах в нефтегазоносных районах Туркменистана. // Маркшей-дерский вестник. 2014. №4. С.34 41.
- 6. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г., Букин В.Г. Деформационные предвестники техногенных землетрясений при разработке месторождений углеводородов // Физикотехнические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011. №4. С.40 49.
- 7. Кузиков С.И., Мухамедиев Ш.А. Структура поля современных скоростей земной коры в районе Центрально Азиатской GPS сети // Физика Земли. 2010. №7. С.33 51.
- 8. Кузьмин Ю.О., Чуриков В.А. Механизм формирования аномальных деформационных процессов в период подготовки Камчатского землетрясения 2 марта 1992 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. N6. C.37-51.
  - 9. Кузьмин Ю.О. Современное геодинамическое со-

стояние недр. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), Т.6, М.: МГГУ, 2000, С.55-65.

- 10. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: МГГУ. 2004. 280 с.
- 11. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломов и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2007. №1. С.33-41.
- 12. Кузьмин Ю.О. Проблемные вопросы изучения деформационных процессов в современной геодинамике / Горный информационно аналитический бюллетень, М.: МГГУ. №3, 2008. С.98-107.
- 13. Кузьмин Ю.О. Еще раз об оценке оседания дна акватории в случае разработки сеноманской залежи одного газового месторождения // Маркшейдерский вестник. 2010. №1. С.53 60.
- 14. Кузьмин Ю.О. Актуальные проблемы идентификации результатов наблюдений в современной геодинамике // Физика Земли. 2014. №5. С.51 - 64.
- 15. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломов и парадоксы скоростей деформаций // Физика Земли. 2013. №5. С.28 46.
  - 16. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разлом-

ных зон: разломообразование в реальном масштабе времени // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т.5. №2. С.401 – 443.

- 17. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика опасных разломов // Физика Земли. 2016. №5. С.87 101.
- 18. Кузьмин Ю.О., Фаттахов Е.А. Тензометрический анализ деформаций земной поверхности по результатам длительных светодальномерных наблюдений на Камчат-ке // Путь науки. № 5 (27). 2016. Vol.2. C.75 78.
- 19. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. М.: «Машиностроение». 1983. 248 с.
- 20. Стеблов Г.М., Василенко Н.Ф., Прытков А.С. и др. Динамика Курило Камчатской зоны субдукции по данным GPS // Физика Земли. 2010. №5. С.77 -82.
- 21. Фаттахов Е.А. Сопоставление результатов спутниковых и наземных методов геодеформационных наблюдений за СДКЗ на Камчатке // Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания. Ответственные редакторы В.В. Адушкин, Г.Г.Кочарян. М.: Издательство ГЕОС. 2015. С. 97.
- 22. Хисамов Р.С, Гатиятуллин Н.С., Кузьмин Ю.О. и др. (Под редакцией Хисамова Р.С, и Кузьмина Ю.О.). Современная геодинамика и сейсмичность Юго-Востока Татарстана. Казань: «Фэн». 2012. 240 с.

Юрий Олегович Кузьмин, д-р физ.-мат.наук, профессор, Исполнительный директор Института Физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН по направлению «Геодинамическая безопасность объектов ТЭК», профессор кафедры «Геологии и маркшейдерского дела» Горного института НИТУ МИСиС,, E-mail: kuzpnex@gmail.com; Евгений Альбертович Фаттахов, инженер-исследователь Института Физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН

#### Уважаемые коллеги!

Напоминаем Вам, что с 28 по 30 марта 2017 г. в Государственном геологическом музее им.В.И.Вернадского Российской академии наук (г.Москва, Моховая ул., д.11, стр.11) будет проходить 14-я международная выставка «Недра-2017. Изучение. Разведка. Добыча».

Мероприятие проводится с 2004 г. Министерством природных ресурсов и экологии РФ, Федеральным агентством по недропользованию, Российским геологическим обществом при поддержке профильных комитетов Совета Федерации и Государственной Думы ФС РФ; Торгово-промышленной палаты РФ; Союза нефтегазопромышленников России.

Основные разделы выставки:

- Геологоразведка на суше и морском шельфе;
- Геофизика, сейсморазведка, интерпретация;
- Региональная геология, геомониторинг, геоинформатика, метрология;
- Технологии, оборудование и приборы для разведки полезных ископаемых;
- Машины и оборудование для горной промышленности, шахт, горнообогатительных комбинатов;
- Гидрогеология;
- Самоцветы и алмазы России;
- Охрана труда, промышленная безопасность, геоэкология.

В рамках деловой и культурной программы выставки запланировано проведение научно-технических мероприятий по стратегии развития и использованию минерально-сырьевой базы России, конкурсы среди учащихся и выпускников специализированных учебных заведений, презентации и другие мероприятия.

Подробную информацию о выставке можно получить на сайте www.nedraexpo.ru или по тел.:+7 903-516-43-05, +7 926-580-71-82, E-mail: info@expobroker.ru

Редакция «МВ»

УДК 624.131.438

В.А.Бабелло, С.И.Щукин, Н.В.Овчаренко

### О ПРИЧИНАХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗАПАДНОГО БОРТА РАЗРЕЗА «УРТУЙСКИЙ»

На основании анализа горно-геологических и гидрогеологических особенностей Уртуйского месторождения бурых углей, а также результатов инструментальных наблюдений за устойчивостью западного борта разреза «Уртуйский» выполнена оценка его текущего деформационного состояния. Предложены наиболее эффективные инженерно-технические мероприятия по стабилизации деформаций борта на данном этапе освоения месторождения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** угольный разрез; разрез «Уртуйский»; трещина отрыва; деформации; горно-геологические и гидро-геологические факторы; наблюдения.

V.A.Babello, S.I.Shchukin, N.V.Ovcharenko

## ABOUT THE REASONS OF DEFORMATIONS OF THE WESTERN BOARD OF URTUYSKY COAL MINE

Based on the analysis of mining-and-geological and hydrogeological features of the Urtuysky field of brown coals, and also results of tool observations of stability of the western board of Urtuysky coal mine assessment of its current deformation status is executed. The most effective technical actions for stabilization of deformations of a board at this stage of development of the field are offered. **KEY WORDS:** coal mine; Urtuysky coal mine; separation crack; deformations; mining-and-geological and hydrogeological factors; observations.







В.А.Бабелло

С.И.Щукин

Н.В.Овчаренко

Уртуйское месторождение бурых углей расположено в Краснокаменском районе Забайкальского края. Месторождение находится в переходной зоне от расчлененного рельефа Кличкинского хребта к пологой Восточно-Урулюнгуевской впадине, развит эрозионно-аккумулятивный тип рельефа, подтип пологоволнистой наклонной делювиально-пролювиальной равнины. Абсолютные отметки поверхности колеблются от 637 м в восточной части до 645-660 м - в западной части. Участок месторождения располагается в устьевой части пади Уртуй, по которой проходит русло временного водотока, водосборная пло-щадь которого составляет 542 км<sup>2</sup>. В сухие периоды ручей пересыхает, в периоды дождей его дебит возрастает до 3 м<sup>3</sup>/с. В районе разреза «Уртуйский» русло водотока отведено во временный водоотводной канал.

Граница месторождения определяется как естественным выклиниванием угольных пластов и выходом их под наносы, так и ограничивающими разрывными нарушениями.

Месторождение разведано полностью в его естественных границах. В настоящее время запасы месторождения отрабатываются разрезом «Уртуйский», строительство которого начато в 1986 г. С начала работ добыто 75,7 млн.т угля.

В геологическом строении месторождения принимают участие породы двух структурных этажей. К нижнему структурному этажу относятся разнозернистые граниты с дайками диоритов и разнообразными

по форме и размерам ксенолитами верхнепротерозойских метаморфических пород, которые слагают фундамент впадины и ее обрамление. Глубина залегания фундамента составляет 500-700 м.

На породах нижнего структурного этажа с резким угловым несогласием залегают отложения верхнего структурного этажа, представленные на месторождении, преимущественно, терригенными отложениями тургинской и кутинской свит нижнего мела. Условно отнесенные к тургинской свите валунные конгломераты, мощностью более 20 м, вскрыты двумя скважинами на северо-западном фланге месторождения.

Породы кутинской свиты развиты на всей площади месторождения и представлены угленосной подсвитой, в составе которой выделяются две толщи: нижняя подугольная и верхняя продуктивная.

Породы нижней толщи представлены песчаниками с горизонтами алевролитов, аргиллитов, гравилитов и конгломератов. Прослои бурых углей в подугольной толще имеют незначительную (доли метра – первые метры) мощность и по простиранию замещаются углистыми алевролитами и аргиллитами.

Продуктивная толща, в своей нижней части, вмещает все промышленные пласты бурых углей. Условной границей между нижней и верхней толщами являются почвы пласта «Мощного». Основную долю в составе пород толщи играют алевролиты, тесно переслаивающиеся с песчаниками. Гравилиты имеют незначительную мощность (первые метры) и развиты спорадически. Доля песчаников в разрезе постепенно возрастает по мере приближения к борту впадины. Максимальная мощность толщи установлена на северном фланге месторождения, где она достигает 160 м. В центральной части мощность толщи относительно постоянна и колеблется от 90 до 120 м.

На площади месторождения установлены или предполагаются разрывные нарушения субмеридионального, северо-западного направления. Наиболее отчетливо проявлены разрывы вдоль западного борта мульды, они представляют собой сбросо-сдвиги

мощностью до нескольких метров, состоящие из нескольких сближенных швов мощностью 5-10 см, выполненных перетертыми и дробленными породами, подверженными интенсивной аргиллизации. Между швами развиты интенсивно трещиноватые породы. В непосредственной близости от таких швов резко увеличиваются углы слоистости (до 60-70°).

Нижнемеловые отложения перекрыты рыхлыми неоген-четвертичными отложениями мощностью до 60 м.

Основными особенностями геологического строения Уртуйского месторождения являются:

- развитие аллювиально-пролювиальных фаций осадков и высокая тектоническая нарушенность пород;
- развитие мощного чехла рыхлых отложений, что связано с унаследованным характером неотектонических движений.

Выполненными исследованиями на месторождении выделено два стратиграфо-генетических комплекса: рыхлые четвертичные отложения и угленосные отложения Кутинской свиты нижнемелового возраста.

В свою очередь отложения первого комплекса делятся на две группы:

а) песчано-галечниковые несвязанные породы;

б) глинистые связные породы.

Отложения первого комплекса имеют 5 горизонтов, сверху вниз: гравийно-галечниковые породы, пески, супеси, глины, суглинки. Второй комплекс включает надугольную толщу, продуктивный горизонт и подугольную толщу.

Наименьшими прочностными свойствами обладают четвертичные глины, суглинки, низкой прочностью характеризуются породы надугольной толщи, которая отличается значительной неоднородностью состава. Наиболее прочными являются угли и породы подугольной толщи, что объясняется более высокой плотностью и более низкой пористостью и влажностью.

Инженерно-геологическая характеристика и физико-механические свойства вскрышных пород и угля месторождения приводятся в табл.1.

Следует отметить, что при длительном замачивании глинистых пород не исключается их переход из твердой консистенции в пластическую и текучую, что приведет к снижению их прочности и устойчивости в бортах разреза. Более устойчивыми окажутся песчано-гравийные отложения, однако их обводненность может способствовать развитию суффозионных процессов в песчаных и супесчаных породах.

Таблица 1

Инженерно-геологическая характеристика и физико-механические свойства вскрышных пород и угля
Уртуйского месторождения

			Физико-механические свойства									
Комплексы пород	Группы пород	Типы пород	Плот- ность, ро, г/см <sup>3</sup>	Влаж- ность, W, %	Порис- тость, n, %	Степень влажно- сти, G	Угол внутр. трения, град, ф	Сцеп- ление, С, МПа	Времен- ное со- противле- ние сжа- тию, <sub>Фсж</sub>	Временное сопротивление разрыву,		
		Глины	2,01	23,20	-	0,681	19	0,0179	-	-		
		Суглинки	1,96	17,30	-	0,758	22	0,015	-	-		
Четвертич- ные отложе-	Глинистые связные	Суглинки гравелистые Супесь	2,07	11,70	-	0,745	23	0,025	-	-		
ния		гравелистая	1,93	9,40	-	0,520	25	0,021	-	-		
	Рыхлые связные	Песок гравелистый Гравийный грунт	1,95 2,13	-	_	-	39 35	0,014	-	-		
	05	Песчаники	2,05	13,71	30,77	0,802	38	0,0132	-	-		
	Обломочные	Алевролиты	1,99	19,69	34,13	0,958	30	0,0156	-	-		
Угленосные отложения	сцементиро- ванные	Переслаивание пород	2,00	19,76	34,51	0,956	19	0,0135	-	-		
Кутинской	Органогенные	Угли бурые	1,18	31,10	37,93	0,738	38	4,06	11,1	0,73		
СВИТЫ	Обломочные	Песчаники	2,14	11,09	24,60	0,870	36	1,66	5,88	0,63		
	сцементиро-	Алевролиты	2,04	12,48	27,88	0,810	34	0,322	2,36	0,26		
	ванные	Гравелиты	-	8,38	-	-	31	0,727	2,39	0,39		

Анализ гидрогеологических условий Уртуйского месторождения показывает, что они весьма сложные ввиду пестрого литологического состава пород, различия фильтрационных свойств, их изменчивости в разрезе и по простиранию, сложных граничных усло-

вий, связанных с наличием разнородных границ.

В целом фильтрационные свойства пород Уртуйского месторождения высокие, что определяет высокую обводненность месторождения.

Так же обводненность разреза в значительной

мере связана с грунтовыми водами, поступающими к нему на участке западного борта со стороны пади Уртуй. В летние месяцы при продолжительных дождях и в периоды снеготаяния происходит интенсивная подпитка горизонта грунтовых вод четвертичных отложений поверхностными водами ручья Уртуй, соответственно происходит увеличение его производительности в 1,5-2 раза.

При разработке месторождения неоднократно возникала проблема эффективности и безопасности ведения горных работ ввиду развития неблагоприятных деформаций горного массива, обусловленных сложностью горно-геологических и гидрогеологических факторов. Высокая обводненность месторождения, гидродинамическая связь разреза с поверхностными водами, трещиноватость горных пород и отсутствие водоупоров способствуют увеличению водопритоков на добычные горизонты, тем самым резко снижают устойчивость бортов и уступов и вызывают опасные деформации.

Так за период работы разреза Уртуйский было зафиксировано развитие ряда крупных оползневых деформаций.

В 2005 г. при отработке юго-западного борта, блоков 3-А, 12-С<sub>1</sub>, в которых прослеживалось увеличение угла падения пласта до 75 градусов, фронт горных работ проходил на участках крупных широтных разломов, четвертичные отложения находились в значительно обводненном состоянии, данные факторы привели к развитию оползневой деформации объ-

емом 10 млн.м<sup>3</sup>. В процессе отработки были зафиксированы смещения до 40 мм/сут, на верхних уступах наблюдались провалы автодорог, на угольных горизонтах происходило выдавливание угольного пласта.

Деформации имели сложный характер, смещение происходило по почве угольного пласта. Тем самым развитию оползня способствовали сложные горно-геологические и гидрогеологические факторы.

В начале 2015 г. на рельефе, вдоль всего рабочего западного борта, была замечена тещина отрыва, протяженностью 400 м.

Появление и развитие деформаций западного борта в пределах выделенной опасной зоны №1 было предопределено, по нашему мнению, неблагоприятными горно-геологическими и гидрогеологическими факторами, связанными с тем, что:

- слоистость массива падает в сторону выработанного пространства (рис.1);
- в призме возможного обрушения имеются тектонические трещины, развитие которых активизировано в северо-западной части месторождения в 400-500 м от верхнего уступа на поверхности, с амплитудами сброса до 1,3 м (фото 1);
- имеют место ослабленные обводненные поверхности скольжения;
- горными работами в юго-западной части разреза вскрыт обводненный участок, связанный с выходом палеорусла ручья Уртуйский, с суффозионным выносом пород четвертичного комплекса в разрез (фото 2).

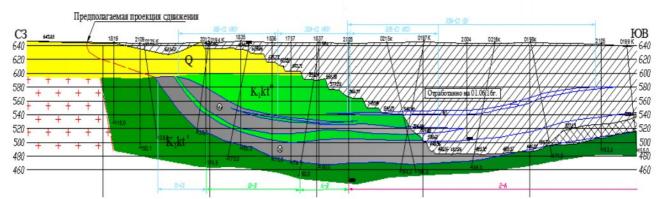


Рис.1. Геологический разрез по р.л. V



Фото 1. Трещина отрыва вдоль западного борта разреза

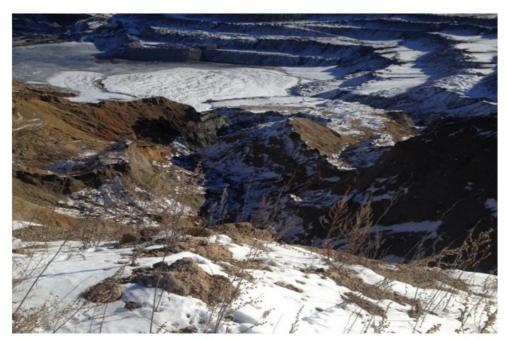


Фото 2. Выход палеорусла ручья Уртуйский на юго-западном борту разреза

В мае 2016 г. для оценки развития тектонической нарушенности, разработки мероприятий по водоотведению и водопонижению и приведению участка западного борта в безопасное состояние был проведен комплекс геофизических, инженерногеологических работ, в ходе которых были установлены новые факторы развития деформаций.

Геофизические работы были проведены методом электротомографии с помощью многоэлектродного комплекса «Скала-48». После построения предварительного геофизического разреза были пробурены заверочные инженерно-геологические скважины (рис.2).

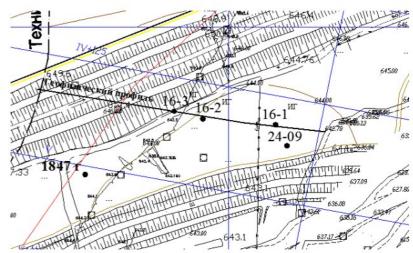


Рис.2. Схема расположения геофизического профиля

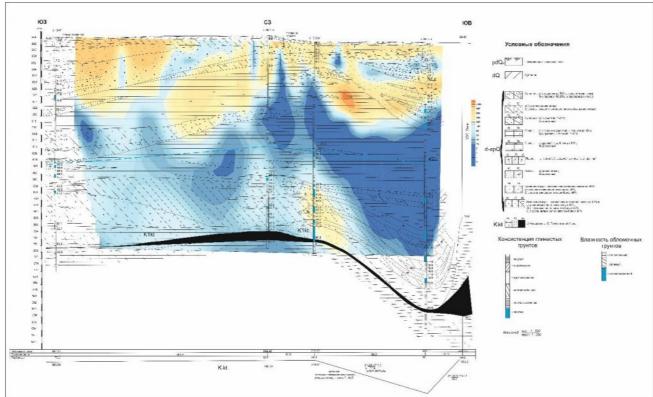


Рис.3. Геофизический профиль

С помощью данного комплекса работ были уточнены: инженерно-геологическое строение горных пород, выделены зоны повышенной обводненности, определены глубины залегания и мощности водоносных и водоупорных горизонтов, выделены тектонически ослабленные зоны и потенциальные зеркала скольжения оползня (рис.3).

По результатам проведенных работ также был определён новый фактор, спровоцировавший развитие оползневой деформации, а именно трещина отрыва оконтуривает древнее палеорусло и участок мощного суффозионного выноса, тем самым провоцируя разуплотнение горного массива. Объем формируемого оползня оценивается в 50 млн.м<sup>3</sup>.

В настоящее время в пределах выделенной

опасной зоны №1 проводятся визуальные наблюдения и инструментальный мониторинг деформаций западного борта разреза электронным тахеометром Trimble M3 DR2 и GPS-оборудованием Trimble R7/R8. Наблюдательная станция опасной зоны №1 состоит из 4-х наблюдательных линий. Наблюдения по линиям №1, №2, №4 производятся маркшейдерской службой разрезоуправления «Уртуйское» электронными тахеометрами. Наблюдения по линии №3 производятся специализированной организацией БИГР GPS-оборудованием (рис.4).

По результатам наблюдений составляются сравнительные ведомости, с расчётом абсолютных величин и скоростей сдвигов, оседаний (табл.2).

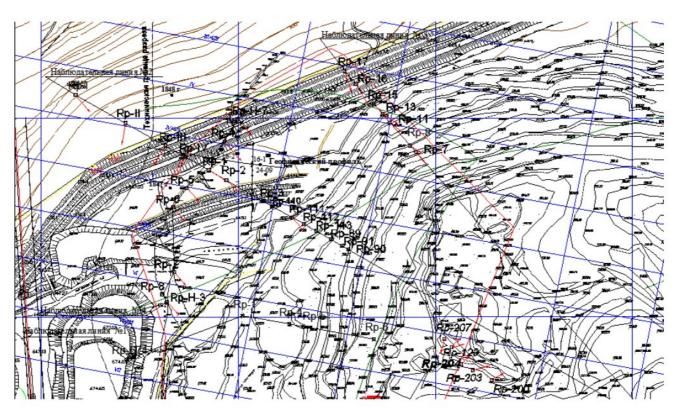


Рис.4. Схема расположения временных наблюдательных реперов

### Выводы

- 1. Вышеизложенные результаты наблюдений свидетельствуют о том, что в настоящее время Западный борт фактически находится в достаточно опасном критическом состоянии; при ухудшении гидрогеологических условий (значительное выпадение атмосферных осадков в летний период) возможны опасные смещения. Ухудшение гидрогеологической ситуации в связи с предстоящими паводками может привести к увеличению скорости деформаций до критических величин.
- 2. Результаты расчета устойчивости рабочего борта с учетом обводнения показывают, что фактический коэффициент запаса резко снижается и борт по всей высоте переходит в неустойчивое состояние с коэффициентом запаса 0,758. Если произвести полный перехват вод подруслового потока р. Уртуй, ус-

тойчивость борта на слабом участке обеспечивается с коэффициентом запаса 1,81.

- 3. Наиболее эффективными инженернотехническими мероприятиями по стабилизации деформаций западного борта разреза «Уртуйский» на данном этапе, по нашему мнению, являются:
- снижение генерального угла наклона борта за счет выполнения основных объемов вскрышных работ на верхних горизонтах при их минимизации в средней и нижней частях борта;
- скорейший переход к добыче угля по падению пластов от выходов западного крыла синклинали под наносы, с минимизацией объемов и дальнейшей консервацией добычной зоны в нижней части борта;
- локализация существующих и предотвращение дополнительных суффозионных выносов за счет перехвата вод подруслового потока.

Таблица 2

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ВЕДОМОСТЬ координат наблюдательных реперов по западному борту разреза "УРТУЙСКИЙ"

	Измере	ния на 30.05.	2016г Х	Х цикл дирекционный						Разность			
NºNº		.,		Гори-		угол		Сдвиг,	Скорость	Осад-	Скорость	горизонт.	
пп	X M	У м	Н м	зонт. проло-	0	,	<b> </b> ,,	М	сдвига, мм/сутки	ка, м	осадки, мм/сутки	проложе-	
	IVI	IVI	IVI	жение	0	/			WINN OF TRAI		Wilvin Oy 1 KV1	ний	
29				Наблюд	цательн	ая лин	ия №	1		10		5	
Rp-674													
Rp-1	уничтожен												
Rp-4	уничтожен												
Rp-5	уничтожен												
Rp-6	уничтожен												
	Наблюдательная линия №2												
Rp-I	89058,455	92087,087	657,232	0,000	139	5	52	0,149	0,8	0,056	-2,3	0,000	
Rp-II	88986,953	92213,595	651,712	145,316	221	22	22	0,038	8,9	0,07	-0,7	-0,056	
Rp-III	88929,474	92315,084	652,199	116,636	191	43	30	0,100	3,1	0,059	-2,8	0,079	
Rp-IV	88900,628	92366,417	651,482	58,883	209	56	6	0,056	1,9	0,073	-2,1	-0,035	
Rp-1	88867,226	92425,725	643,091	68,067	121	21	9	0,345	0,3	-0,308	-3,9	0,005	
Rp-2	88842,265	92469,98	642,348	50,809	132	12	56	0,184	2,7	-0,304	-3	0,024	
Rp-3					у	ничтох	кен						
Rp-89						НИЧТО							
Rp-90 Rp-91						НИЧТО							
Rp-110						НИЧТОХ НИЧТОХ							
Rp-111	88747,589	92637,4	637,651	57,317	125	5	15	0,069	2,7	-0,106	-4,1	0,021	
Rp-112	00747,509	92037,4	037,031	37,317		НИЧТО		0,009	2,1	-0,100	<del>-4</del> , i	0,021	
Rp-113						ничтох							
•				Наблюд	ательн	ая лин	ия №	4					
Rp-4	88939,606	92465,224	649,50	0,000	158	45	34	0,234	2,6	-0,287	-1,9	0,058	
Rp-5	88821,586	92370,007	643,011	151,632	119	13	9	0,230	1,0	-0,353	1,0	-0,049	
Rp-6	88773,246	92334,975	642,512	59,699	124	47	26	0,170	3,9	-0,429	1,2	0,089	
Rp-7	88609,235	92338,151	646,773	353,967	137	27	15	0,211	1,2	-0,137	8,9	0,000	
Rp-8													
Rp-H3	88532,511	92319,989	644,00	23,373	125	15	12	0,290	0,7	-0,156	-3,1	-0,028	
Rp-H7	88996,585	92497,80	649,504	276,399	96	0	32	0,108	2,5	-0,001	1,5	0,051	

### Литература

- 1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах СПБ., Межотраслевой научный центр ВНИМИ 208 с.
- 2. Певзнер М.Е. Борьба с деформациями горных пород на карьерах М., Недра 1978 255 с.
- 3. Арсентьев А.И., Буклин И.Ю., Мироненко В.А. Устойчивость бортов и осушение карьеров — М., Недра,

1982 – 165 c.

- 4. Шлейдер В.А. и др. Отчет по результаам детальной разведки Уртуйского буро-угольного месторождения. Сосновское ПГО. Иркутск, 1985.
- 5. Максимова Л.Я. и др. Материалы результатов инженерно-гидрогеологических работ по западному борту разреза «Уртуйский», АООТ Приаргунское ПГХО. Красно-каменск, 2004.

Виктор Анатольевич Бабелло, д-р техн. наук, профессор кафедры Инженерной геологии и гидрогеологии ЗАбГУ, тел. 8-924-388-37-39, E-mail: babellovictor@mail.ru; Сергей Иванович Щукин, главный геолог ПАО «ППГХО» (г.Краснокаменск), тел. 8-30245-3-53-24,

E-mail: shchukin\_s@inbox.ru; Наталья Валерьевна Овчаренко, главный геолог разреза «Уртуйский» (г. Краснокаменск), тел. 8-30245-3-47-72,

E-mail: nataovharenko@mail.ru

УДК 622.831:550.837

А.С.Харкевич, Т.И.Лазаревич, В.С.Зыков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАВЕДЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке метода локального прогноза удароопасности угольных пластов по параметрам наведенного электромагнитного излучения горного массива. Обоснован показатель напряженности углепородного массива, экспериментально установлено его критическое значение, позволяющее разграничивать опасные и не опасные по горным ударам зоны. На примере удароопасного пласта 26 шахты «Юбилейная» показана эффективность использования показателя.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** наведенное электромагнитное поле; напряженно-деформированное состояние; геофизические методы прогноза техногенных геодинамических явлений; горные удары; показатель удароопасности; защитная зона; зондирование массива.

A.S.Kharkevich, T.I.Lazarevich, V.S.Zykov

## RESEARCH OF PARAMETERS OF THE INDUCED ELECTROMAGNETIC FIELDS FOR ASSESSMENT OF THE INTENSE DEFORMED CONDITION OF THE MASSIF

Results of theoretical and pilot studies on development of a method of the local forecast of blow of danger of coal layers on parameters of the induced electromagnetic radiation of the massif are provided. The intensity indicator coal of the pedigree massif is reasonable, its critical value allowing to differentiate zones, dangerous and not dangerous on mountain blows, is experimentally established. On the example of blow of dangerous layer 26 of the Anniversary mine efficiency of use of an indicator is shown.

**KEY WORDS:** the induced electromagnetic field; the intense deformed condition; geophysical methods of the forecast of the technogenic geodynamic phenomena; mountain blows; danger blow indicator; protective zone; sounding of the massif.



А.С.Харкевич



Т.И.Лазаревич



В.С.Зыков

В России в качестве одной из важных проблем государственной значимости, в том числе и так называемых «критических технологий», рассматриваются технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [1].

В настоящее время наблюдается активное внедрение геофизических методов прогноза техногенных геодинамических явлений в процессы мониторинга, прогноза и контроля за опасностью по геодинамическим явлениям. Особое место в этом заняли измерения параметров электромагнитного излучения массива — естественного и под воздействием наведенного электромагнитного излучения [2-8 и др.].

Использование параметров наведенных электромагнитных полей для оценки напряженнодеформированного состояния горного массива основано на индуктивном возбуждении высокочастотного электромагнитного поля в окружающем выработку массиве и измерении амплитуды его магнитной составляющей в точках выработки на разных расстояниях от излучателя. При постоянной частоте поля f, базе измерений между приемником и излучателем R, ориентации приемной и излучающей антенн амплитуда зависит от эффективного электросопротивления

угля в определенном объеме краевой части массива.

Для текущего определения степени удароопасности участков массива угля используются несколько вариантов измерений, которые предусматривают определение дискретных значений амплитуды при перемещении излучателя или приемника вдоль выработки. База измерений выбирается из условий контроля электропроводности массива до глубины h, равной ширине защитной зоны, определяемой согласно [9].

Одним из вариантов определения электросопротивления на постоянном токе является его измерение в условиях наведенного электромагнитного поля. В этом случае все закономерности распределения постоянного тока справедливы и для распределения переменного тока в массиве. Для выявления зависимости наблюдаемых полей от характера геоэлектрических разрезов удобно сравнивать их с полями, теоретически рассчитанными для известных геоэлектрических разрезов.

Пусть на поверхности однородного полупространства, заполненного средой с удельным сопротивлением р, расположен полусферический электрод радиусом а, погруженный в землю до экваториальной плоскости и питаемый током *I*. Здесь, и в дальнейшем, будем полагать, что удельное электросопротивление материала, из которого изготовлен электрод, настолько мало по сравнению с сопротивлением вмещающей среды, что практически потенциалы всех точек электрода можно считать одинаковыми. Такой электрод называется эквипотенциальным.

Для горных пород характерна анизотропия электрических свойств и, в частности, удельного электросопротивления. Пусть в однородной безграничной анизотропной среде с поперечным удельным электросопротивлением  $\rho_{\it fl}$  и продольным  $\rho_{\it fl}$ , т.е. с коэф-

фициентом анизотропии  $\Lambda = \sqrt{\rho n/\rho t}$ , расположен точечный электрод, питаемый током *I*. Чтобы найти выражение для потенциала поля, создаваемого этим электродом, воспользуемся уравнением непрерывности div j=0.

В прямоугольной системе координат, оси x и y которой параллельны сланцеватости, а ось z – нормальна к ней, это уравнение можно записать в виде:

$$\frac{1}{\rho_t} \frac{\partial Ex}{\partial x} + \frac{1}{\rho_t} \frac{\partial Ey}{\partial y} + \frac{1}{\rho_n} \frac{\partial Ez}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

или

$$\frac{1}{\rho_t} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho_n} \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0.$$
 (2)

Уравнение (2) определяет искомую потенциальную функцию. После его решения и ряда некоторых преобразований получим:

$$\frac{x^2}{\rho_n} + \frac{y^2}{\rho_n} + \frac{z^2}{\rho_t} = const. \tag{3}$$

Эквипотенциальные поверхности поля точечного источника в однородной анизотропной среде представляют собой семейство подобных эллипсоидов вращения, сжатых по оси z (рис. 1). Отношение полуосей эллипсоидов  $\sqrt{\rho_{\scriptscriptstyle t}/\rho_{\scriptscriptstyle n}}$  совпадает с коэффициентом анизотропии. Потенциал точечного источника на поверхности однородного анизотропного полупространства равен:

$$U = \frac{I}{2\pi} \frac{\rho t \sqrt{\rho n}}{\sqrt{\rho t (x^2 + y^2) + \rho n * z^2}} . \tag{4}$$

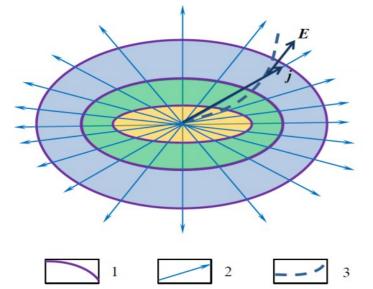


Рис. 1. Поле точечного источника в однородной анизотропной среде:

1 – силовые линии;
 2 – токовые линии;
 3 – эквипотенциальные линии

Эквипотенциальные линии на поверхности земли представляют собой семейство подобных эллипсов, вытянутых по простиранию пород. Отношение полуосей этих эллипсов определяется выражением:

$$b/a = \sqrt{(\rho_t \cos^2 \alpha + \rho_n \sin^2 \alpha)/\rho_t} =$$

$$= \sqrt{\cos^2 \alpha + \Lambda^2 \sin^2 \alpha}$$
(5)

В случае вертикального падения пород ( $\alpha$ =90°) отношение b/а полуосей эквипотенциальной линии равно  $\Lambda$  – коэффициенту анизотропии.

При горизонтальном залегании пород ( $\alpha$ =0) в соответствии с (4):

$$U = \frac{I}{2\pi} \frac{\sqrt{\rho_n \rho_t}}{\sqrt{x'^2 + {v'}^2}}.$$
 (6)

Пусть в точке Q на поверхности разреза, состоящего из n-1 горизонтальных пластов мощностью  $h_1$ ,  $h_2$ ,...,  $h_{n-1}$  с глубиной залегания подошвы  $d_1$ ,  $d_2$ ,..., $d_{n-1}$  и обладающих сопротивлением  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,...,  $\rho_{n-1}$ ,  $\rho_n$ , находится точечный источник поля, питаемый током I (рис.2).

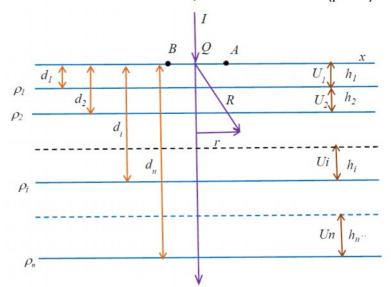


Рис.2. К расчету полей точечного и дипольного источников, расположенных на поверхности *п*-слойного геоэлектрического разреза

Решив уравнение Лапласа  $\Delta U$ =0, удовлетворяющего условиям на поверхностях раздела, на бесконечности и у источника поля, можно получить выражение для потенциала точек поверхности горизонтально-слоистого разреза

$$U = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left\{ \frac{1}{r} + \int_0^\infty [R_1(m) - 1] J_0(mr) dm \right\}.$$
 (7)

Здесь  $J_0$  (mr) — функция Бесселя первого рода нулевого порядка от mr:

$$R_{1}(m) = cth \left[ mh_{1} + arcth \frac{\rho_{2}}{\rho_{1}} \left[ cth \left[ mh_{2} + arcth \frac{\rho_{3}}{\rho_{2}} \right] \right] \times \left[ cth \left[ mh_{3} + ... + arcth \frac{\rho_{n-1}}{\rho_{n}} \right] \right].$$
 (8)

При  $ho_i > 
ho_{i+1}$  следует оставить  $\it cth$  и  $\it arcth$ , а при  $ho_i < 
ho_{i+1}$  заменить их на  $\it th$  и  $\it arth$ .

Обозначив  $R_1$  (m)-1 через  $R'_1$  (m), получим

$$U = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left[ \frac{1}{r} + \int_0^\infty R_1'(m) J_0(mr) dm \right]. \quad (9)$$

Представляет интерес то обстоятельство, что функция  $R'_1$  (m) зависит только от параметров  $h_i$  и  $\rho_i$  слоистого разреза и не зависит от r. Как известно, функция  $J_1(mr)$  имеет осциллирующий характер, причем период осцилляций обратным образом зависит от m. Если существует общая мера глубины  $d_0$ , целое число раз укладывающаяся в  $d_1$   $d_2$ ,..., dt, ... , $d_{n-1}$ , для  $R'_1$  (m) может быть получено выражение:

$$R'_{1}(m) = 1 + 2\sum_{i=1}^{n} q_{i}e^{-2imd_{0}}$$
, (10)

где  $q_i$  – коэффициент эмиссии, который может быть рассчитан для любого значения i по заданным параметрам многослойного разреза.

Потенциал точек поверхности земли может быть выражен в виде бесконечной суммы элементарных функций

$$U_{1} = \frac{\rho_{1}l}{2\pi} \left[ \frac{1}{r} + 2\sum_{i=1}^{\infty} \frac{q_{i}}{\sqrt{r^{2} + (2d_{0}i)^{2}}} \right]$$
(11)

или

$$U_{1} = \frac{\rho_{1}l}{2\pi} \left[ \frac{1}{r} + 2\sum_{i=1}^{\infty} q_{i}t_{i,U} \right], \tag{12}$$

где  $t_{i,u}$  – коэффициенты удаления, не зависящие от сопротивлений горизонтов, определяемые из следующего выражения:

$$t_{i,U} = \frac{1}{\sqrt{r^2 + (2id_0)^2}} \,. \tag{13}$$

В соответствии с (12) напряженность поля на поверхности земли равна

$$\vec{E} = -\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left[ \frac{1}{r^2} + 2 \sum_{i=1}^{\infty} q_i t_{i,E} \right], \quad (14)$$

где коэффициент удаления 
$$t_{i,E} = \frac{r}{\left[r^2 + (2id_0^-)^2\right]^{3/2}}$$
 .

С ростом напряжений в массиве угля происходит уплотнение, изменение структуры пор, характера распределения воды и газа в массиве. Изменение этих факторов приводит к изменению  $\rho$ , причем тем большему, чем выше концентрация напряжений в максимуме опорного давления и скорость деформирования краевой части массива. Это приводит к аномальному перераспределению  $\rho$  в прилежащей к выработке части массива, содержащей максимум или минимум удельного электросопротивления в зоне максимума опорного давления, который и регистрируется методом наведенных электромагнитных полей.

Для того, чтобы результаты измерений электросопротивления отражали степень удароопасности массива на заданной глубине, необходимо, чтобы глубина проникновения волн была больше, чем ширина защитной зоны. Для оценки напряженного состояния массива угля и установления степени удароопасности была разработана методика проведения измерений и проведена ее опытная проверка в натурных условиях.

В зависимости от ориентации приемной и излучающей антенн существуют три способа измерения электропроводности пород: 1) плоскости антенн ориентированы перпендикулярно оси выработки; 2) плоскости антенн ориентированы параллельно бортам выработки; 3) плоскости антенн ориентированы параллельно почве выработки. В шахтных условиях целесообразно применять все эти способы в едином комплексе, поскольку в каждом из способов измерений погрешность на результаты измерений вносят как крепь, так и коммуникационные сети (кабели, трубы). Особенно это относится ко второму и третьему способам измерений.

Для снижения этой погрешности применяется отношение амплитуд. При оценке напряженного состояния массива угля учитывается отношение амплитуды сигнала, измеренной при первом способе, к амплитуде второго способа измерений F=Vxx/Vyy. При оценке состояния кровли применяется отношение амплитуды при первом способе измерений к амплитуде при третьем способе Vxx/Vzz. Эти отношения являются характеристикой напряженности массива, которая в логарифмических координатах линейно снижается при снижении  $\rho$ .

Следует отметить, что прогноз степени удароопасности методом наведенных электромагнитных полей основан на контроле изменения  $\rho$  углей в зоне опорного давления как части массива, наиболее сильно изменяющей свои свойства под действием горного давления. Для того, чтобы аномальная зона была выявлена, ее поперечный размер должен быть не менее  $0.5R_{min}$ . Поэтому методы дипольного электромагнитного профилирования ДЭМП и дипольного электромагнитного зондирования ДЭМЗ с теоретической точки зрения применимы на пластах мощностью не менее 2,0 м. Однако, практическая проверка данного метода на пластах мощностью 1,6-1,8 м показала, что данный метод можно применять и на пластах меньшей мощности. По всей видимости, в этом случае свою долю в изменение электропроводности вносят вмещающие породы.

Вышеизложенные рассуждения позволили разработать соответствующую методику практических измерений и определения параметров, характеризующих это состояние. В соответствии с этой методикой проведены многочисленные шахтные экспериментальные исследования, подтвердившие правильность полученных теоретических результатов [10-12]. Для оценки степени напряженно-деформированного состояния массива используется показатель напряженности угольного массива *F*. Статистическим методом установлено его критическое значение. Критерием отнесения участков угольных пластов или целиков к категории опасно являются значения параметра на-

пряженности менее 0,20, полученные в пределах защитной зоны, рассчитанной для условий, в которых производятся измерения.

В качестве одного из примеров можно привести результаты сопоставительных промышленных испытаний на шахте «Юбилейная» в горных выработках, пройденных по пласту 26, при отработке которого произошло 2 горных удара с разрушением бортов выработки и газовыделением. Параллельно с оценкой напряженного состояния методом наведенного электромагнитного поля по показателю *F* категория удароопасности определялась также методом по вы-

ходу буровой мелочи  $P^{V}$ , являющемуся нормативным показателем удароопасности угольного массива (рис.3).

При этом измерения по определению показателя F производились из тех же точек, из которых бурились скважины для измерения  $P^{\vee}$ , и в тех же направлениях.

Испытания проведены на западном и восточном крыльях пласта 26. Результаты испытаний показали, что показатели  $P^{V}$  и F работают практически синхронно симметрично, одновременно фиксируя вход в удароопасную зону и выход из нее.

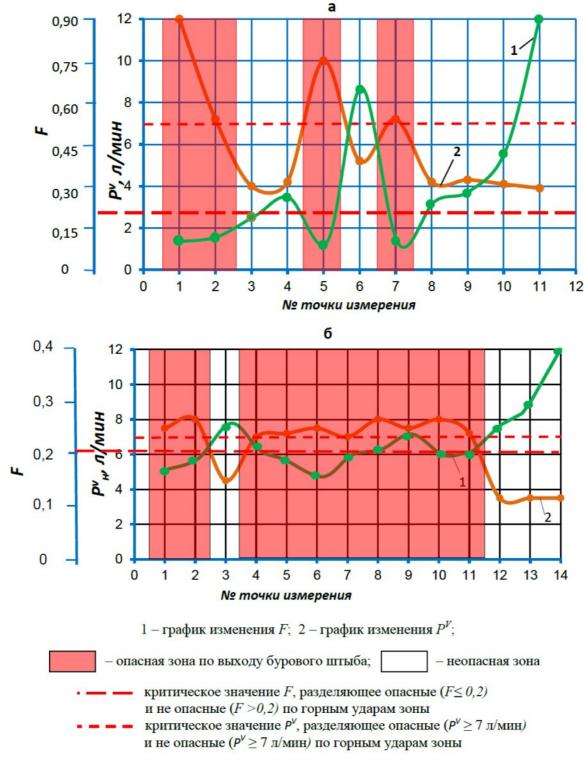


Рис.3. Сопоставление значений показателя напряженности массива F и выхода бурового штыба  $P^{V}$  в выемочных штреках 7, 8 и 9 западного крыла (а) и восточного крыла (б) шахты «Юбилейная»

При зондировании геофизической аппаратурой установлено, что значения параметра F, равные 0,24 и менее, соответствуют участкам повышенных на-

пряжений (частота измерений составляла 250 кгц). Участкам пониженных напряжений соответствуют значения F более 0,24.

Существенным преимуществом метода прогноза удароопасности по показателю *F* является его оперативность по сравнению с методом прогноза по выходу бурового штыба [9], и для его осуществления не требуется оборудования буровых точек с подводом электроэнергии. В результате повышается эффективность выполнения прогноза опасности по горным и другим геодинамическим проявлениям на угольных предприятиях, и появляется возможность выполнения исследовательских работ по изучению геомеханических свойств массива.

#### Литература

- 1. Адушкин В.В., Опарин В.Н. От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия к волнам маятникового типа в напряженных геосредах // ФТПРПИ. Ч. IV, 2016. № 1. С. 3-49.
- 2. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Поляков А.Н., Мулев С.Н. Концепция построения систем контроля состояния горного массива как элемента многофункциональной системы безопасности угольных шахт // Сб. науч. тр. СПб: ВНИМИ, 2012. с. 7-17.
- 3. Проскуряков В.М., Шабаров А.Н., Фрид В.И. Естественное электромагнитное излучение краевой части угольного пласта // Безопасность труда в промышленности. 1989. № 4. С. 32-34.
- 4. Курленя М.В., А.Г.Вострецов, Г.И.Кулаков, Яковицкая Г.Е. «Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород». — Новосибирск: Издательство Сибирского отделения Российской Академии Наук, 2000 г. — 232 с.

- 5. Лазаревич Т.И., Поляков А.Н. Горный мониторинг сейсмической и геодинамической безопасности Кузбасса // Маркшейдерский вестник. 2010. № 1. С. 16-22.
- 6. Зыков В.С., Денисенко С.И., Трусов С.Е., Славолюбов В.В. Физические основы применения газо-электромагнитного метода для текущего контроля за выбросоопасностью // Вестник КузГТУ. № 2. 2004. С. 30-33.
- 7. Зыков В.С. К вопросу контроля за выбросоопасностью при реализации многофункциональной системы безопасности // Маркшейдерский вестник. 2016. № 1. С. 57-62
- 8. Dov Bahat, Avinoam Rabinovich, Vladimir Frid. Tectonofractographic and Electromagnetic radiation Methods. Springer Berlin Heidelberg New York. Library of Congress Control Number: 2004108439. 2005. 579 c.
- 9. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам // Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов. Серия 05. Нормативные документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в угольной промышленности. Выпуск 2. 2-е изд., испр. / НТЦ «Промышленная безопасность». — М., 2001. — С. 120-303.
- 10. Лазаревич Т.И., Поляков А.Н., Скитович В.П., Харкевич А.С. Разработка методических принципов оценки напряженного состояния в условиях сложного геодинамического режима месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 12. С. 104-108.
- 11. Лазаревич Т.И, Скитович В.П., Харкевич А.С. Методика и результаты геофизического прогноза напряженного состояния целиков в условиях Соколовского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 2. С. 123-125.
- 12. Харкевич А.С. Опыт борьбы с удароопасностью угольных пластов в современных условиях и применяемых технологий угледобычи с использованием системы непрерывных инструментальных наблюдений. // Сб. науч. тр. СПб: ВНИМИ, 2012. с. 7-17.

Харкевич Андрей Сергеевич, зав. лабораторией горного давления и горных ударов, тел. раб. (3842) 58-77-86, моб. 8-904-969-05-51, E-mail vnimi-kuzbass@mail.ru; Тамара Ивановна Лазаревич, директор, канд.техн. наук, тел. раб. (3842) 58-75-17, моб. 8-903-046-07-68, E-mail vnimi-kuzbass@mail.ru;

Виктор Семенович Зыков, зав. лабораторией прогноза и предотвращения внезапных выбросов угля и газа и других газодинамических явлений, д-р техн. наук, проф., тел. раб. (3842) 58-00-40, моб. 8-903-067-63-08, E-mail vnimizvs@mail.ru

(Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела — Межотраслевой научный центр ВНИМИ, Кемеровский филиал)

УДК 622.831:550.543

В.И.Ляшенко

## ПРИБОРНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ ПОД ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ<sup>1)</sup>

Приведены основные научно-практические результаты исследований в области разработки и совершенствования приборно-методического обеспечения элементов геомеханического мониторинга подземных геотехнических систем месторождений сложной структуры под водными объектами. Описан комплексный метод исследований, включающий анализ работ, шахтные и лабораторные экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение результатов исследований по стандартным методикам. Изложены результаты опыта косвенной оценки устойчивости предохранительного целика под водными объектами по изменению минерализации шахтной воды и диагностики элементов конструкций систем разработки для обеспечения безопасности ведения горных работ. Предложена новая классификация геомеханического состояния горного массива под водными объектами по критерию водоопасности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** месторождения сложной структуры; подземная разработка; безопасность; геомеханический мониторинг; приборно-методическое обеспечение; минерализация шахтной воды.

V.I.Lyashenko

## INSTRUMENT AND METHODICAL AND TECHNICAL ENSURING GEOMECHANICAL SAFETY OF MINING OPERATIONS UNDER WATER OBJECTS

The main scientific and practical results of researches in the field of development and improvement of instrument and methodical providing elements of geomechanical monitoring of underground geotechnical systems of fields of complex structure under water objects are given. The complex method of researches including the analysis of works, mine and laboratory pilot studies, mathematical and physical modeling, and also the theoretical analysis and generalization of results of researches on standard techniques is described. Results of experience of indirect assessment of stability of a safety spurn under water objects for change of a mineralization of mine water and diagnostics of elements of designs of systems of development for safety of conducting mining operations are stated. New classification of a geomechanical condition of the massif under water objects by criterion of water danger is offered.

KEY WORDS: fields of complex structure; underground mining; safety; geomechanical monitoring; instrument and methodical providing; mineralization of mine water



Актуальность проблемы. Эффективность работы горнодобывающих предприятий во многом определяется стабильностью и безопасностью функционирования подземной геомеханической системы, что достигается информированностью о состоянии производственной

среды, контролем и прогнозом этих процессов, определяемых свойствами массива, его взаимодействием с выработками, крепями и охранными конструкциями, начальным состоянием массива и его поведением в процессе подготовки и отработки месторождения. термогазодинамическими явлениями и т.д. [1-3]. Особенно остро эти вопросы встают в связи с интенсификацией и концентрацией производства, что требует привлечения новых прогрессивных методов постоянного геомеханического контроля с его трансформацией в системный мониторинг [4-6]. Горнодобывающие предприятия оказывают негативное влияние на промышленные зоны, жилые агломерации, естественные объекты, в том числе и на водные и сельскохозяйственные угодья [7-9]. Подземные горные работы под объектами при небольшой глубине относятся к технологически сложным. опасным и в научнотехнической литературе освещены недостаточно. При разработке месторождений необходимо не только сохранить поверхность с сооружениями и зданиями, но и минимизировать возможный выход вредных элементов в окружающую среду и, как следствие, снизить их негативное влияние на население. Поэтому развитие приборно-методического обеспечения

геомеханической безопасности горных работ на принципиально новых началах для повышения технико-экономических показателей, создания безопасных и комфортных условий труда представляет важную научную и практическую задачу, требующую безотлагательного решения [10-15].

Метод исследований — комплексный, включающий анализ работ в области геомеханического мониторинга, шахтные и лабораторные экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование, а также теоретический анализ и обобщение результатов исследований по стандартным методикам.

Обсуждение и оценка полученных результатов. Геомеханический мониторинг - это комплексная система наблюдений за состоянием массива горных пород, оценки и прогноза техногенных изменений в литосферной среде с целью выявления негативных последствий и разработки рекомендаций по их устранению при разработке месторождений полезных ископаемых. Под контроль, диагностику и прогноз геомеханического состояния подземных геотехнических систем подпадают следующие явления, процессы и характеристики: свойства пород и горного массива, его напряженно-деформированное состояние (НДС); векторно-силовые параметры взаимодействия массива с выработками, креплением и охранными конструкциями; характеристики исходного состояния массива и его поведение в процессе подготовки и разработки месторождения; динамика и газодинамика среды. Достоверность мониторинга определяется количеством и информативностью используемых методов диагностики, а также уровнем при-

борного обеспечения. Рассмотрим новые элементы геомеханического и сейсмического мониторингов.

Опыт косвенной оценки устойчивости предохранительного целика под водными обектами. «Мичуринское» сложноструктурное месторождение Восточного ГОКа (Украина), значительная часть которого залегает под рекой, промышленными и гражданскими зданиями и сооружениями, представлено крутопадающими рудными телами различной мощности (рис.1) [16]. Длина рудных тел составляет по простиранию от 600 до 700 м (преимущественно 100-250 м), по падению от 150 до 400 м. Руды и вмещающие их породы крепкие (коэффициент крепости по шкале проф. М.М.Протодъяконова f=14-18), массивные, имеют неслоистое строение. В направлении к поверхности происходит существенное ухудшение количественных и качественных характеристик трещиноватости как по отдельным залежам, так и по месторождению в целом. На верхних горизонтах породы выветренные, коэффициент крепости снижается до f=6. Месторождение разрабатывается камерной системой с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью различного состава и прочности с оставлением предохранительного (подречного) целика мощностью 70-90 м.

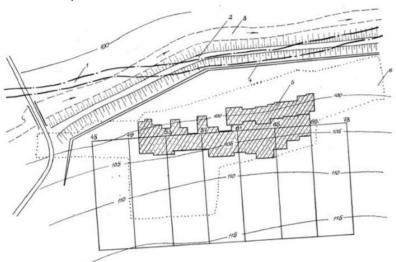


Рис.1. Совмещенный план поверхности и подземного участка «Мичуринского» месторождения:

1 - главный Мичуринский разлом; 2 - дамба; 3 - река; 4 - противофильтрационная завеса; 5 - кровля камеры на горизонте 60 м; 6 - кровля камер на горизонте 90 м

В зависимости от горно-геологических условий разработка ведется камерами, располагаемыми как по простиранию, так и вкрест простирания рудных залежей, что в общешахтной добыче составляет 37,9% и 62,1% соответственно. Кристаллические породы в пределах поймы и подречного целика реки «Ингул» представлены гранитами, гнейсами, рудными и безрудными альбититами, и на всей площади перекрыты чехлом песчано-глинистых отложений. Общая мощность рыхлых отложений колеблется от 4-6 м на севере до 15-20 м - на юге. Ниже рыхлых отложений повсеместно распространяется зона выветренных кристаллических пород. Мощность зоны непостоянна и колеблется от 2 до 20 м. Увеличение мощности зоны выветренных пород от 20 до 40 м происходит с

севера на юг и с востока на запад. В гидрогеологическом отношении участок месторождения характеризуется тремя водоносными горизонтами, которые гидравлически связаны между собой. Общее направление потока с севера на юг согласуется с направлением течения реки. Наиболее интенсивно влияние вод реки сказывается на залежи I и 20 и породы их висячего бока. Это объясняется тем, что русло реки проходит на севере непосредственно над залежами, а южнее 49-й оси - вдоль висячего бока залежи I в полосе сильнотрещиноватых пород. В процессе более чем 30-летней отработки месторождения камерная система разработки с отбойкой руды из подэтажных штреков (ортов) и закладкой твердеющими смесями хорошо освоена, имеет высокую производительность труда, сравнительно низкую себестоимость продукции и самое главное - высокую интенсивность, что очень важно при вовлечении в эксплуатацию залежей подречного целика. Камеры в этаже 90-150 м и ниже, шириной 15 м, располагались вкрест простирания. Отбойку руды вели скважинными зарядами диаметром 57 и 65 мм, которые бурили станками НТ-2 «Норит» и ПК-75. Параллельные нисходящие скважины диаметром 85 мм для образования отрезной щели бурили станками НКР-100М. Отбитая руда через вибропитатели ПВГ-1,2/3,1 и ПВГ-1,3/7,0 поступала в вагоны ВГ-4М. Применяется также самоходное буровое оборудование отечественного производства для проходческих и очистных работ: установка буровая БУ-85С; колонка для бурения шпуров ручным перфоратором ЛКР-МН; установка бурильная шахтная УБШ-201; установка бурильная шахтная УБШ-203; малогабаритная буровая установка УБШ-1ГЛ и погрузочно-доставочное оборудование: погрузочнодоставочная машина МПДН-1А; электрогидравлическая погрузочно-транспортная машина ПТ-2ЭШ-М, а также зарубежных фирм «Atlas Copco» (буровые установки Boomer 281, Boomer S1D; погрузочнодоставочная машина Wagner ST-3,5; шахтные самосвалы MT 2010, SANY LC 20E), «Tamrock» и др. [17-19].

Для оценки устойчивости предохранительного целика под водными обектами представляют научный и практический интерес переносные шахтные приборы для измерения глубины взрывных и технологических скважин типа ИГС, а также для уточнения угла заложения взрывных скважин в веере типа ИУС-1 (табл.1), разработанные ГП НПК «Автоматика и машиностроение» (Украина) (рис.2) [20]. Работа измерителей основана на принципе эхолокации. Датчик измерителей излучает звуковой импульс и принимает сигнал, отраженный от дна скважины. На табло измерителя представляются условный номер веера, номер скважины в веере и ее глубина в сантиметрах. Одновременно результат записывается в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) для последующей обработки в ПЭВМ. Перезапись осуществляется через порт RS-232. Датчик измерителей устанавливается в устье скважины при помощи телескопического досылочного устройства. Активным элементом датчика является пьезоэлемент, закрепленный на гибкой мембране и совмещающий разделенные во времени функции излучателя и приемника.

Таблица 1

#### Технические характеристики измерителей

Наименерацие деказата дей	Тип измерителя					
Наименование показателей	ИГС–2	ИГС-3	ИУС-1			
Диаметр измеряемых скважин, мм	65; 85; 105	65; 85; 105	65; 85; 105			
Диапазон измерения глубины, м	1,5 –3 0	3–60	0-360			
Основная абсолютная погрешность	±15	±50	±10			
измерения, см	±10	±30	110			
Ёмкость ОЗУ для хранения результатов	1000	1000	1000			
измерения, данных по скважине	1000	1000	1000			
Габаритные размеры, мм						
–прибора	200×130×130	200×130×130	200×130×130			
–датчика	Ø65×130	Ø65×130	Ø65×130			
–штанги	Ø30×700	Ø30×700	Ø30×700			
Масса, кг, не более	3	3	3			

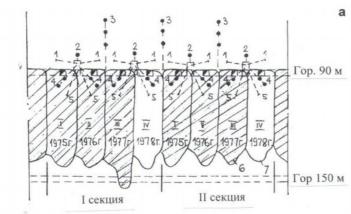


Рис.2. Измерители для измерения глубины взрывных и технологических скважин типа ИГС и уточнения угла заложения взрывных скважин в веере типа ИУС–1 (общий вид)

**Измеритель ИУС-1** предназначен для измерения угла заложения взрывных скважин в веере и представляет собой переносной шахтный прибор. Измерение производится посредством абсолютного оптического шифратора (энкодера), выходной код которого определяет угловое положение скважины относительно вертикали, сформированной закрепленным на горизонтальной оси энкодера грузом. Сигнал датчика измерителя обрабатывается микроконтроллером и результат выводится на цифровое табло. Табло индицирует условный номер веера, номер скважины в веере и угол заложения скважины с дискретностью в 10 угловых минут. Результат автоматически заносится в ОЗУ для последующей обработки в ПЭВМ. Перезапись осуществляется через порт RS-232. Датчик измерителя, кроме энкодера, содержит распорный узел, устанавливаемый в устье скважины с помощью телескопического досылочного устройства.

На протяжении всего периода ведения горных работ под предохранительным подречным целиком проводили комплексные наблюдения за подрабатываемым массивом, которые включали исследование сдвижений поверхности совместно со специалистами ОАО «ВНИМИ» (г.Санкт-Петербург), звукометрические наблюдения из горных выработок с помощью переносных приборов и дистанционно - с поверхности. Осуществляли сейсмические, инструментальные и визуальные наблюдения, а также давалась косвенная оценка устойчивости предохранительного целика по изменению минерализации шахтной воды. Для количественной оценки напряженного состояния массива выше горизонта 90 м использовали звукометрический метод, состоящий в регистрации количества звуковых сигналов, возникающих в подрабатываемом массиве вследствие микроразрушений по мере ведения горных работ в интервале 90-150 м (рис.3).

При увеличении напряжений в предохранительном целике интенсивность микроразрушений возрастает, что фиксировалось системой центрального звукометрического контроля (СЦЗК-2). Количество микроразрушений в единицу времени характеризует состояние изучаемого массива. Сейсмические наблюдения включали регистрацию скорости прохождения сейсмических колебаний, а инструментальные - поведение глубинных реперов, установленных в скважинах, пробуренных с поверхности, и открытых маркшейдерских реперов. Косвенная оценка устойчивости предохранительного целика базируется на уменьшении минерализации шахтных вод. Интенсивность проникновения поверхностных вод определяет нарушенность целика раскрытием трещин. Наблюдения показывают, когда работы в подречном целике не проводили, минерализация шахтных вод не снизилась, а даже несколько возросла, что подтверждает отсутствие существенных изменений в подрабатываемом массиве (рис.4).



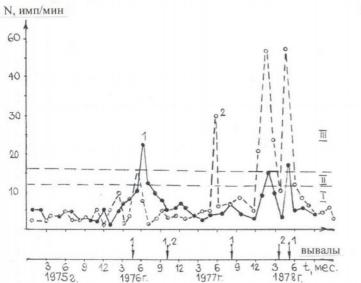


Рис.3. Контроль за безопасностью разработки рудных залежей под водными объектами (река Ингул):

а – вертикальная проекция рудной залежи: 1,2 – скважины, соответственно, для проведения звукометрических наблюдений и глубинными реперами за состоянием кровли камер; 3 – скважины с глубинными реперами для проведения

наблюдений за состоянием потолочины; 4,5 — скважины для глубинных реперов; 6 — заложенные блоки; 7 — выработанное пространство; б — графики звукометрических наблюдений за устойчивостью обнажений камер в секциях: 1,2 — кривые, соответственно, первой и второй секций;

I, II, III – соответственно устойчивое, переходное и неустойчивое состояние массива горных пород (другие обозначения в тексте)

В начале определяют содержание минеральных веществ в притоках воды в горные выработки до ведения горных работ. По отношению полученных исходных  $(x_1)$  и текущих  $(x_2)$  определяют геомеханическое состояние подработанного массива с учетом критерия Стьюдента согласно формуле:

$$K_{_{6}} = \overline{x_{_{1}}} - \overline{x_{_{2}}} / S \cdot \sqrt{n_{_{1}} \cdot n_{_{2}} / n_{_{1}} + n_{_{2}}}$$
, (1)

где  $K_{\rm B}$  – критерий водоопасности;  $x_1$  и  $x_2$  – исходная и текущая удельная минерализация в пробе подземной воды, отобранная до и после подработки водного объекта, мг/л;  ${\bf n_1}$  и  ${\bf n_2}$  – количество проб подземной воды в исходной и текущей группах наблюдений для исходного и текущего моментов времени (изменяется в пределах 1...20);  ${\bf S}$  – среднее квадратическое отклонение разности  $x_1-x_2$ , мг/л.

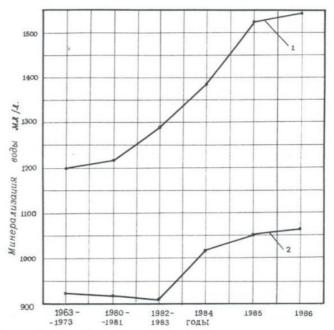


Рис. 4 – Графики измерения минерализации шахтных вод во времени:

1, 2 – соответственно при устойчивости и при нарушении целика раскрытием трещин протокола

Показатели, характеризующие изменение критерия водоопасноти  $K_{\text{в}}$ , в зависимости от горногеологических условий исследуемых участков, приведены в табл.2.

Полученные данные по шахтным водам до ведения горных работ в очистных камерах рассматриваются как исходные для последующего сравнения. Значение критерия К<sub>в</sub>, соответствующее водонеопасному, угрожающему и водоопасному геомеханическим состояниям охранного целика под водным объектом, определяется на основании проведенных экспериментальных работ при подработке горного массива.

На первом этапе на каждом контролируемом участке охранного целика под водным объектом проводились постоянные наблюдения за признаками водопасности и за удельной минерализацией шахтной воды по наблюдательным скважинам. На этой стадии проводится накопление информации.

На втором – по результатам комплексных наблюдений за признаками водоопасности и удельной минерализации шахтной воды геомеханическое состояние контролируемого участка охранного подречного целика оценивается как водонеопасное, угрожающее и водоопасное.

Критерий водоопасности связан с надежностью определения геомеханического состояния подработанного массива. При  $K_B < 0.20$  с доверительной вероятностью (надежностью) не менее 0.84 геомеханическое состояние охранного целика на контролируемом участке водонеопасное; при  $0.20 < K_B < 0.50$  с надежностью не менее 0.62 геомеханическое состояние водонеопасное, но надежность такой оценки является низкой, поэтому такое геомеханическое состояние по водоопасности является угрожающим (предупредительным) и предшествует водоопасному; при  $K_B > 0.50$  надежность водоопасного геомеханического состояния становится менее 0.62, то есть с вероятностью более 0.38 можно утверждать о возможности прорыва вод из водного объекта в горные выработки.

Таблица 2

#### Характеристика горного массива в зависимости от критерия водоопасности

Примечание. Питание измерителей осуществляется от встроенных аккумуляторов

Наименование показателей	Геомеханическое состояние подработанного массива пород и руд					
	водонеопасное	угрожаемые	водоопасное			
Критерий водоопасности (К <sub>в</sub> ):						
минимальный;	0,002	0.2	0,5			
максимальный	0,2	0.5	>0,9			
надежность определения	>0.84	>0,62	<0,62			
Коэффициент структурного ослабления массива горных пород*	>0,4	0,4–0,2	0,2–0,1			
Среднее расстояние между трещинами в массиве <b>Р</b> , см	>35	35–15	15–5			
Удельная тещиноватость массива, тр/м <sup>2</sup>	0–8	8–15	15–30			
Состояние подработанного массива	Устойчивое	Среднеустойчивое	Неустойчивое			

Примечание. Коэффициент структурного ослабления определяется по количеству трещин горного массива, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> (по данным скважин или горных выработок)

Пределы изменения значений критерия водоопасности  $K_B$  в зависимости от геомеханического состояния охранного целика приведены в табл.3. Каждому значению критерия водоопасности соответствуют: определенное по водоопасности геомеханическое состояние охранного целика; характерные для этого геомеханического состояния водопроявление горного давления в очистной выработке на контролируемом участке; необходимые для проведения мероприятия по повышению безопасности горных работ и эффективности мер охраны водного объекта, своевременного предотвращения интенсивного затопления подземных горных выработок.

Оценку водоопасности геомеханического состояния охранного целика производят по удельной минерализации — удельному содержанию солей (катионов:  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^+$  и анионов:  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^-$ ) в мг/л в притоках подземной воды наблюдательных скважин. Для этого по каждой наблюдательной скважине отбирают пробы подземной воды и определяют

удельное содержание солей (табл.4). По величине разности удельных минерализаций по двум пробам (исходной и текущей) подземной воды судят о геомеханическом состоянии и водоопасности охранного целика под водным объектом в различный период времени. Снижение удельного содержания солей в подземных водах характеризует ухудшение геомеханической устойчивости горного массива.

На основании результатов геомеханического контроля за состоянием горного массива звукометрическими переносными приборами, улавливающими звуковые импульсы разрушения (горные шумы), возникающие в момент нарушения целостности внутренних связей его отдельностей [6–9], автором установлено изменение коэффициента запаса прочности *п* от частоты импульсов разрушения  $N_{\text{имп}}$  (табл.5).

Предложена также вероятностная шкала устойчивости для разных категорий охраняемых объектов (табл.6).

Таблица 3 Классификация геомеханического состояния горного массива под водными объектами по критерию водоопасности

Критерий водоопасности, К <sub>в</sub>	Гомеханическое состояние охранного целика	Проявление геомеха- нического состояния в очистных выработках	Мероприятия по повышению безопасности ведения горных работ
		Заметного	Проводятся с определенной частотой наблю-
K <sub>B</sub> <0,20	Водонеопасные	водопроявления и	дения за удельной минерализацией шахтной
N <sub>B</sub> \0,20	N <sub>B</sub> < 0,20 DODONEONACHBIE	самообрушения пород	воды и, при возможности, за водопроявлением и
		кровли не наблюдается	проявлением горного давления
	20≤К <sub>в</sub> ≤0,50 Угрожающее	Наблюдается изменение	Наблюдения проводятся чаще, производят
		водопроявления и	подготовительные работы к изоляции и заклад-
0,20≤K <sub>B</sub> ≤0,50		незначительное	ке выработанного пространства искусственными
		самообрушение пород	материалами на случай резкого увеличения
		кровли	водопроявления и объемов самообрушения
		Наблюдается резкое	Наблюдения проводятся с максимально
	Водоопасное	изменение	возможной частотой, подготовительные
K <sub>R</sub> >0,50		водопроявления и	выработки срочно изолируют от поступления в
N <sub>B</sub> ~ 0,50	родоопасное	значительное	них воды из очистного пространства и при
		самообрушение пород	необходимости закладывают очистное
		кровли	пространство искусственными материалами

Таблица 4 Гидрогеологическая и геомеханическая характеристики горного массива под водным объектом

Данные по	Исследуемый		Ве	сна			Ле	то			Oce	ЭНЬ			Зиі	ма	
обработке	участок	n,	Χ,	S,	Кв,	n,	х,	S,	Кв,	n,	Х,	S,	Кв,	n,	Χ,	S,	Кв,
		шт.	мг/л	ед.	%	ШТ.	мг/л	ед.	%	шт.	мг/л	ед.	%	шт.	мг/л	ед.	%
Исходные	Водный	6	834	427	48,8	19	965	263	27,2	6	987	221	22,4	3	982	212	21,6
	объект							-11 20-1									
	Подземные	34	1159	223	19,2	161	1200	206	17,2	31	1203	156	13,0	34	1213	188	15,5
ii	выработки				51			18 80					731		16	9	117
Текущие	Водный	4	918	478	52,1	16	1087	318	29,2	5	1155	211	18,2	4	1138	287	25,2
50 00	объект		2		329				93								900
	Подземные работы	14	1650	405	24,6	48	1545	392	25,3	19	1653	444	26,8	7	1630	512	31,4

Таблица 5 Показатели изменения коэффициента запаса прочности от величины действующих напряжений и частоты импульсов разрушения

			•					
	Массив							
	средне	трещиноватый			СИЛЬН	отрещиноватый		
Напряже- ние, МПа (кгс/м²)	Частота импуль- сов, N <sub>имп</sub> , имп/мин	Коэффициент запаса проч- ности, п, ед	Напряжение в % от разру- шающего	Напряже- ние, σ, МПа (кгс/м²)	Частота импуль- сов, N <sub>имп</sub> имп/мин	Коэффициент запаса прочно- сти, n, ед.	Напряжение в % от разру- шающего	
4,4 (44)	4	9,5	24,0	2,2 (22)	1	19,10	9,2	
6,6 (66)	5	6,4	36,1	4,4 (44)	1	9,50	18,3	
8,8 (88)	10	4,7	48,1	6,6 (66)	1	6,40	27,5	
11,0 (110)	13	3,8	60,1	8,8 (88)	2	4,70	36,6	
13,2 (132)	19	3,2	72,1	11,0 (110)	4	3,80	45,8	
15,4 (154)	24	2,7	84,2	13,2 (132)	10	3,20	55,0	
18,3 (183)	32	2,3	100,0	17,6 (176)	12	2,40	73,3	
	_	_	_	24.0 (240)	24	1.75	100.0	

Вероятностная шкала устойчивости для категорий охраняемых объектов

Охраняемые объекты <sup>1</sup>	Коэффициент безопасности <sup>1</sup>	Надежность,	Вероятность разрушения,	Предельно допус- тимый запас проч-
охраниемые объекты	ед.	Р, доли ед.	V, доли ед.	ности, п,ед.
I категории	150	0,9970	0,0030	76,88·10 <sup>-3</sup> t <sup>1,07</sup>
II категории	100	0,9940	0,0040	47,99·10 <sup>-3</sup> t <sup>1,07</sup>
III категории	50	0,9831	0,0169	23,73·10 <sup>-3</sup> t <sup>1,07</sup>
Водные:				3.107
II группы	75	0,9880	0,0120	$29,95 \cdot 10^{-3} t^{1,07}$
І группы	50	0.9831	0.0169	$23.73 \cdot 10^{-3} t^{1,07}$

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Категория охраняемых объектов и коэффициент безопасности приведены в соответствии с «Временными правилами охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок месторождений руд цветных металлов с неизученным процессом сдвижения горных пород».

Для условий Мичуринского месторождения предложена формула для определения коэффициента запаса прочности вида [21-33]:

$$n = 23,73 \cdot 10^{-3} t^{1,07}, \tag{2}$$

где n - коэффициент запаса прочности, ед.; t - время существования обнажения потолочины, сут.;

для среднетрещиноватого массива

$$n=20,1N_{\text{MMB}}^{-0.64},$$
 (3)

для сильнотрещиноватого массива

$$n=13,9N_{\text{max}}^{-0.55}$$
. (4)

Это дает возможность прогнозировать устойчивость массива, конструктивных элементов систем разработки и безопасные условия ведения работ под водными объектами и в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях месторождений полезных ископаемых.

Таблица 6

#### Выводы

1. Установлена зависимость коэффициента запаса прочности от вероятности разрушения предохранительной потолочины при устойчивом и неустой-

чивом состояниях, которые отвечают условиям безопасности горных работ на Мичуринском месторождении и надежности, равной 0,983, при времени существования обнажений горных пород до 240 сут. с учетом обеспечения устойчивости конструктивных элементов камерных систем под охраняемыми объектами.

- 2. Определено, что устойчивость массива и целиков зависит от интенсивности импульсов (частоты) звуков разрушения в минуту. Устойчивому состоянию соответствуют значения в пределах 0–13, переходному 13-17, неустойчивому более 17 имп/мин. Для сильнотрещиноватых горных массивов приходится до 20 м² обнажения на 1 м скважины, среднетрещиноватых 30 и слаботрещиноватых 50.
- 3. Доказано, что геомеханическое состояние горного массива под водными объектами классифицируют по критерию водоопасности ( $K_e$ ): при значениях  $K_e$ <0,20 геомеханическое состояние охраняемого целика водонеопасное; 0,20 $\leq K_e \leq$ 0,50 угрожающее;  $K_e$ >0,50 водоопасное.

#### Литература

- 1. Борисов А.А. Механика горных пород. М.: Недра, 1980. 359 с.
- 2. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. М.: Недра, 1976. 272 с.
- 3. Слепцов М.Н., Азимов Р.Ш., Мосинец В.Н. Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов. –М.: Недра, 1986. 206 с.
- 4. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. М.: Недра, 1987. –278 с.
- 5. Скипочка С.И. Механоэлектрические эффекты в породах и их использование в горной геофизике. Днепропетровск: НГАУ, 2002. 178 с.
- 6. Паламарчук Т.А., Кириченко В.Я., Усаченко Б.М. Элементы механосинергетики породного массива. Днепропетровск: Пира ЛТЛ. 2006. 307 с.
- 7. Геомеханічний моніторинг підземних геотехнічних систем /А.В.Анциферов, С.І.Скіпочка, А.О.Япанський та ін. Донецьк: «Ноулідж», 2010. 253 с.
- 8. Ляшенко В.И., Голик В.И. Геомеханический мониторинг горного массива и целиков при подземной разработке урановых месторождений // Цветная металлургия. –2003. №10. С.2–7.
- 9. Ляшенко В.И., Голик В.И. Средства геомеханического мониторинга породного массива при подземной разработке рудных месторождений // Горный журнал. 2004. №5. —С.47—50.
- 10. Ляшенко В.И., Колоколов О.В., Разумов А.Н. Создание и внедрение природо— и ресурсосберегающих технологий подземной разработки месторождений сложной структуры // Цветная

металлургия. -2004. -№9. - С.7-14.

- 11. Ляшенко В.И., Голик В.И. Научные основы геомеханического мониторинга горного массива при подземной разработке месторождений сложной структуры // Цветная металлургия. 2004. №10. С.2—10.
- 12. Временные методические указания по экспрессопределению упругих свойств горных пород ультразвуковым методом на необработанных образцах керна геологоразведочных скважин. РД / А.А.Яланский, Т.А.Паламарчук, С.И.Скипочка и др. –Л.: ВНИМИ. 1987. –40 с.
- 13. Методические указания по составу механических испытаний горных пород и методам обработки горногеологических данных при разведке и вскрытии месторождений полезных ископаемых для проектирования и расчета крепи капитальных горных выработок / В.Т.Глушко, Н.С.Булычев, Е.В.Стрельцов [и др.]. Харьков: ВНИИОМШС, 1979. 116 с.
- 14. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам. –Л. ВНИМИ. 1989 –58с.
- 15. Ляшенко В.И., Дядечкин Н.И. Определение параметров технологии подземной разработки урановых месторождений// Горный журнал. 2009. № 10. С. 55–58.
- 16. Добыча и переработка урановых руд в Украине/ М.И.Бабак, Ю.И.Кошик, В.Н.Пухальский и др.; под общ. ред. А.П.Чернова. — Киев: АДЕФ—Украина, 2001. — 238 с.
- 17. Геомеханический мониторинг массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры/ В.И.Ляшенко, С.И.Скипочка, А.А.Яланский и др. // Цветная металлургия. 2011. №9. С.З 15.
- 18. Эффективное приборно-методическое обеспечение геомеханической безопасности горных работ/ В.И. Ляшенко, С.И.Скипочка, А.А.Яланский и др.// Черная металлургия. –2012. № 5. –C.23–31.
- 19. Геомеханический мониторинг при подземной разработке месторождений сложной структуры/ В.И. Ляшенко, С.И.Скипочка, А.А.Яланский и др.//Известия вузов. Горный журнал. —2012. — №4. —С.109—119.
- 20. Безопасности горных работ надежное геомеханическое и приборное обеспечение/ В.И.Ляшенко, С.И.Скипочка, А.А.Яланский и др.// Безопасность труда в промышленности. 2012. —№ 9. —С.68—77.
- 21. Ляшенко В.И., Пухальский В.Н. Обоснование безопасных параметров камер при подземной разработке приповерхностных запасов месторождения под охраняемыми объектами//Известия вузов. Горный журнал. −2015. ¬№3 –С.37–49.
- 22. Ляшенко В.И. Повышение сейсмической безопасности при подземной разработке приповерхностных запасов месторождения под городской застройкой// Безопасность труда в промышленности. - 2015. - № 9. - С. 38–42.
- 23. Ляшенко В.И. Развитие геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры // Маркшейдерский вестник. –2016. –№1. –С.35–43.

Василий Иванович Ляшенко, канд. техн. наук, ст.научн. сотр., «Заслуженный изобретатель Украины», Действительный член Международной Академии авторов научных открытий и изобретений, Член-корреспондент Украинской экологической Академии наук, начальник научно-исследовательского отдела Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии», г.Желтые Воды, Украина, тел. дом. 05652-2-90-64; моб. 0954227072, E-mail:vi\_lyashenko@mail.ru

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup> В проведении экспериментальных исследований принимали участие Ю.Я.Савельев, А.Х.Дудченко, А.А.Ткаченко, А.Г.Скотаренко, А.И.Подопригора(ГП «УкрНИПИИпромтехнологии), С.И.Скипочка, А.А.Яланский, Т.А.Паламарчук, В.Н.Сергиенко (Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины) и др.

УДК 622.411.33

В.С.Зыков

# О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫБРОСООПАСНОЙ СИТУАЦИИ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Представлены результаты исследований по уточнению механизма внезапных выбросов угля и газа в очистных забоях угольных шахт. Установлены отличительные особенности в формировании выбросоопасного состояния угольного массива в очистных забояхт по сравнению с забоями подготовительных выработок, проводимых по угольным пластам. Описаны условия, при которых происходят внезапные выбросы при очистной выемке угля.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** очистной забой; вмещающие угольный пласт породы; внезапный выброс угля и газа; давление горных пород; давление газа в угольном пласте; зоны угольного пласта в окрестности очистного забоя.

V.S.Zykov

# ABOUT THE MECHANISM OF FORMATION OF EMISSION OF THE DANGEROUS SITUATION IN THE CLEARING FACE OF THE COAL MINE

Results of researches on specification of the mechanism of sudden emissions of coal and gas in clearing faces of coal mines are presented. Distinctive features in formation of emission of a dangerous condition of the coal massif in clearing zaboyakht in comparison with faces of the preparatory developments which are carried out on coal layers are established. Conditions under which there are sudden emissions at clearing dredging of coal are described.

**KEY WORDS:** clearing face; the breeds containing coal layer; sudden emission of coal and gas; pressure of rocks; gas pressure in coal layer; zones of coal layer in the neighborhood of a clearing face.



Процессы протекания внезапных выбросов угля и газа в подготовительных выработках и очистных забоях не имеют принципиальных отличий. Однако условия формирования выбросоопасной ситуации существенно отличаются. Самое главное отличие заключается в том, что в очистном забое призабойная часть пласта находится под

динамической нагрузкой со стороны вмещающих пород. Кровля, склонная к зависанию, способствует возникновению выбросоопасной ситуации. В качестве основных характеристик пород кровли, влияющих на выбросоопасность, выделены соотношение мощности пород основной кровли и мощности угольного пласта, а также прочность вмещающих пород [1].

В.И.Николиным и другими исследователям [2] показано, что наиболее безопасной по выбросам является технология разработки угольных пластов длинными столбами. Это положение было принято на вооружение. Практика разработки угольных пластов в Кузбассе с применением столбовых систем разработки полностью его подтвердила. При ее использовании особых проблем с внезапными выбросами в очистных забоях до современных глубин разработки не возникало.

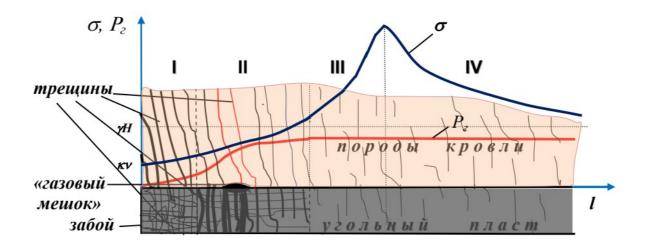
Выполненный Н.Г.Русаковым и В.И.Кравченко анализ проявления выбросоопасности [3] показал, что в значительной степени она определяется технологией ведения горных работ: системой разработки, направлением отработки и порядком выемки угольных пластов, способом управления кровлей, способом выемки и шириной захвата при отбойке угля, соотношением несущей способности кровли и скорости подвигания забоя.

Как известно, разрушение кровли начинается с момента отхода забоя от разрезной печи. При дости-

жении определенной величины отхода происходит первичное обрушение пород кровли. В процессе первичного обрушения тип нагруженности кровли переходит от балочной схемы (кровля опирается на целики угля с двух сторон) к консольной (кровля с одной стороны зависает, а с другой опирается на целик угля и крепь), и напряжения в массиве перераспределяются. В результате впереди забоя в массиве образуется зона опорного давления с областью повышенных напряжений и четко выраженным максимумом.

Возрастают и растягивающие напряжения, и деформации в зоне перегиба консоли над краевой частью пласта. В результате этих деформаций образуются трещины в кровле, параллельные забою, и по ним часть свободного газа мигрирует из массива впереди забоя по трещинам в породы кровли (рис.1) над выработанным пространством, тем самым уменьшая участие газа в возможности развязывания внезапного выброса угля и газа [4].

В угольных пластах на потенциально выбросоопасных участках в окрестности забоя очистной выработки выделяются 4 зоны (рис.1) состояния массива с точки зрения выбросоопасности [4, 5]. Зона І, прилежащая к забою, сложена наиболее разрушенным под воздействием пород кровли углем. Она обладает очень низкими фильтрационными свойствами, вследствие чего процесс дегазации угольного массива сильно растянут во времени. Зона II представляет собой систему примерно параллельных забою элементов массива, состоящих из блоков угля, плотно прижатых друг к другу вмещающими породами. В зоне II, вследствие низкой фильтрационной способности зоны I, создаются условия для аккумулирования больших объемов свободного газа под давлением. В наиболее удаленной от забоя зоне III происходит переход массива из упругого состояния (зона IV) в упруго-пластическое.



 $\sigma$ — величина напряжений в массиве;  $P_e$  — давление газа в пласте; I — расстояние от забоя вглубь массива;  $\gamma H$  — напряжения в нетронутом массиве ( $\gamma$  — средний удельный вес пород кровли, H — глубина от поверхности);  $k\nu$  — напряжения на кромке забоя (k — коэффициент сцепления угля на кромке забоя,  $\nu$  — коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения угля)

Рис. 1. Схема формирования выбросоопасного состояния массива в очистном забое

Поскольку давление со стороны вмещающих пород на пласт в очистной выработке на порядок выше, чем в подготовительной, то выше и степень разрушения угля в призабойной области. По этому фактору, а также из-за более низкой проницаемости прилежащей к забою зоны выбросоопасность очистного забоя в одних и тех же условиях должна быть выше, чем подготовительного забоя. Однако, это не так, поскольку, как уже указывалось выше, значительная часть свободного газа уходит через трещины в породе, вследствие чего угольный пласт дегазируется на значительную глубину от обнажения. Поэтому градиент газового давления в очистной выработке ниже, и для того, чтобы произошел выброс, необходимо значительно более интенсивное внедрение в массив, чем в подготовительной выработке.

Проведенными в КузГТУ под руководством В.Н.Пузырева [6] исследованиями установлен возникающий при обрушении консоли кровли в очистной выработке эффект «гистерезиса сорбции» метана углем, приводящий к увеличению давления свободного газа в призабойной части пласта. Кроме того, вносится уточнение в описанное выше состояние массива вблизи очистной выработки. Показано, что на небольшом удалении от забоя вглубь массива вследствие изгиба кровли создается «газовый мешок», куда устремляется из массива свободный метан и скапливается в объеме, превышающем его содержание в нетронутом массиве. Накоплению метана способствозникновение защемленной изогнувшейся кровлей перемычки (ближней опоры кровли) с очень низкой газопроницаемостью между выработкой и массивом. В момент распрямления слоев пород кровли, считает Балашова Т.А. [7], угольный массив в зоне ближней опоры кровли разгружается, и резко уменьшается защемление угля между кровлей и почвой пласта, снижаются силы трения между ними, а также между отдельными слоями пласта.

Резюмируя изложенные взгляды, можно сфор-

мулировать следующий уточненный механизм развязывания внезапных выбросов угля и газа в очистном забое [8, 9].

При отходе забоя лавы от разрезной печи условия для развязывания внезапного выброса угля и газа примерно равны условиям, имеющим место в подготовительной выработке. Кровля находится в устойчивом состоянии, опираясь со всех сторон на пласт. Поэтому процесс снижения напряжений в пласте в зоне, соответствующей зоне изгиба кровли, и образования в ней «газового мешка» выражен слабо. Повидимому, внезапный выброс в очистном забое в период времени до первичного шага посадки возможен лишь при встрече забоем крупного локального тектонического нарушения закрытого типа с большими запасами газа. Однако можно предполагать высокую выбросоопасность и в момент посадки кровли по причине резкого снижения сил сцепления между угольным пластом и вмещающими породами и слоями угля.

После первичного шага посадки выбросоопасность с увеличением отхода лавы от места посадки возрастает в связи с ростом напряжений в зоне опорного давления (возрастает интенсивность образования выбросоопасных трещин и количество заключенного в них свободного газа), образованием зоны пониженных напряжений вследствие изгиба кровли (возникает «газовый мешок»), усилением защемления ближней опоры кровли (образуется в пласте угля низкопроницаемая перемычка вблизи обнаженной поверхности массива угля, способствующая увеличению давления и объема свободного газа в «газовом мешке»). Если на данной стадии поведения массива произойдет обрушение кровли, то при достаточных давлении и объеме газа в газовом мешке разрушится ближняя опора кровли (угольная перемычка), начнется внезапный выброс угля и газа и при высоком градиенте газового давления перейдет в стадию послойного разрушения и газового дробления угля. Процесс будет усилен тем обстоятельством, что мгновенно

за счет «гистерезиса сорбции» метана углем возрастут объем и давление газа в «газовом мешке».

Если же отход забоя будет увеличиваться и посадки кровли не будет, то, начиная с некоторого момента, начнется описанный выше процесс образования в зоне максимального изгиба кровли трещин, ориентированных в направлении, близком к перпендикулярному плоскости наслоения, но вследствие изгиба кровли отклоненных в сторону выработанного пространства. Через эти трещины газ из «газового мешка» начнет перетекать в выработанное пространство, давление и объем газа в нем начнут снижаться. Активная сила с этого момента по мере отхода лавы также будет снижаться, а пассивная - возрастать за счет увеличения касательных напряжений на кромке забоя вследствие увеличения опорного давления кровли на пласт. То же будет происходить и после следующих посадок.

Чем крепче породы кровли и больше шаг посадки, тем выше будет опасность при прочих равных условиях. Этот вывод подтверждается тем, что внезапные выбросы угля и газа в очистных забоях происходят в условиях, когда в основной кровле пласта залегают высокопрочные песчаники.

Подтверждением изложенного является то, что, как следует из приведенных выше статистических данных, подавляющее число внезапных выбросов произошло при сотрясательно-камуфлетном взрывании и широкозахватной выемке угля. В первом случае причиной было то, что при разупрочнении кровли снималась нагрузка в защемленной части пласта у кромки забоя, ее сопротивление падало, силой газового давления она разрушалась и начинался выброс. Во втором случае при внедрении рабочего органа в массив на большую глубину резко уменьшалась толщина ближней опоры кровли и также падало ее сопротивление с теми же последствиями.

Не следует понимать термин «газовый мешок» слишком буквально. Будем иметь в виду, что в данной зоне присутствует сильно деструктурированный и в значительной степени десорбированный уголь с большими запасами собственного и притекащего из глубины массива газа. Правильнее будет говорить о газонасыщенной зоне угольного пласта. Следует отметить, что данная зона должна совпадать с зоной квазипараллельных забою трещин, так как обе они формируются в той области, где напряжения вследствие разгрузки снизились до величины менее уН.

Газонасыщенная зона («газовый мешок») может иметь двоякое влияние на выбросоопасность массива. С одной стороны, при распрямлении кровли газ внедрится в разрыхленный массив и, как указывалось, выше, может помочь разрушению прилежащей к забою части пласта (ближней опоры кровли), а при ее разрушении увлечет часть угля в выработку. С другой стороны, за счет деформаций угля в сторону изгиба кровли может нарушаться стабильность образования квазипараллельных забою трещин, перемычки между системами этих трещин могут становиться более проницаемыми и частично разрушаться, что

приведет к уменьшению возможности возникновения процесса послойного отрыва угля и, соответственно, развития внезапного выброса. Изгиб кровли в очистных забоях может являться одной из причин их более низкой выбросоопасности по сравнению с подготовительными забоями.

Большинство современных исследователей. придерживающихся энергетической теории внезапных выбросов, в то же время считают, что внезапный выброс начинается со стадии быстрого отжима угля в забой выработки, происходящего в том случае, если равнодействующая активных сил превысит равнодействующую пассивных сил. Для совершения работы по перемещению массы угля необходима энергия. И если подходить строго, то нужно сопоставлять энергию призабойного массива и необходимую работу по перемещению угля. Если забой сохраняет свое состояние, то есть отсутствует его подвигание или внедрение в массив, быстрый отжим практически невозможен, так как для перемещения довольно большой массы прилежащего к забою дегазированного угля нужна значительная энергия. В то же время, если только активная сила чуть превысит пассивную силу и появится некоторая потенциальная энергия, произойдет мизерное смещение массы угля, и активная сила из-за увеличения зияния трещин тут же снизится на небольшую величину ее превышения над пассивной силой. Вследствие десорбции газа и дальнейшего развития трещин активная сила вновь начнет превышать пассивную, но тут же произойдет смещение и снижение ее величины. Так будет происходить бесконечно. Данный посыл подтверждается практикой. В остановленном на достаточно длительное время (более 1 часа) забое при отсутствии какого-либо внедрения в массив внезапные выбросы и даже внезапные выдавливания не происходят.

Представление о сложении сил в равнодействующую для части массива, которую мы рассматриваем, может приниматься лишь с определенным допущением, так как эта часть твердым телом не является и представляет собой трещиновато-пористое тело, которое обладает упругими и пластическими свойствами. Предлагается учитывать, что в физическом теле с такой структурой происходят локальные смещения там, где активная сила превышает пассивную, и процесс прорастания трещин идет постоянно во всей зоне влияния выработки, и в наибольшей степени там, где массив уже существенно разгружен от горного и газового давления, но при этом сохраняется высокое давление газа. В то же время в результате прорастания каждой конкретной трещины и падения в ней давления газа она вновь может сжаться на какую-то величину под воздействием более высокой активной силы в соседней трещине, хотя в целом по мере разгрузки массива трещины будут расти.

Благодаря описанным процессам призабойная часть массива постоянно находится в «живом», динамичном состоянии. Кинетическая энергия смещений массива и энергия сорбции метана переходят в потенциальную энергию нарушенной пачки или совокупности пачек массива. Последняя накапливается и при соответствующих условиях может перейти в

энергию внезапного выброса угля и газа. Этот процесс предлагается обозначить термином «энергонасыщение призабойной части массива» газодинамической энергией. Чем в большей степени произойдет подзарядка, то есть чем большее число трещин раскроется и «насытится» газом под высоким давлением, тем более выражены будут все стадии внезапного выброса угля и газа, если он произойдет. Потенциальная энергия прилежащей к забою массы угля будет высокой в том случае, если активная сила существенно превысит пассивную. Это возможно в двух случаях — при внедрении в массив на значительную глубину или при неожиданной пригрузке со стороны вмещающих пород.

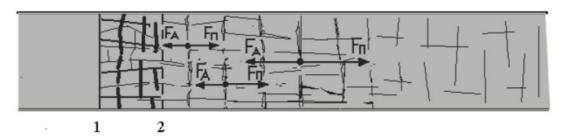
Анализ происшедших выбросов говорит о том, что именно в момент внедрения в массив и создания новой обнаженной поверхности впереди забоя, как правило, начинается выброс. Если сразу после внедрения отторжения массы угля не произойдет, то обычно вновь достигается равновесное состояние массива. Причем это не обязательно должна быть выемка угля при подвигании забоя. Выбросы развязываются также при выполнении профилактических мероприятий по предупреждению проявлений газодинамической опасности, основанных на быстром

внедрении в массив или интенсивном воздействии на него — бурении скважин, гидровымывании опережающих полостей, гидроотжиме призабойной части пласта и др.

В очень редких случаях зарегистрированы «запоздалые» выбросы, когда явление начинается несколько позже процесса отбойки угля, оказывающей возмущающее влияние на краевую часть пласта.

При выемке угля на кромке забоя резко изменяется газонапряженное состояние пласта. Забой выработки перемещается в новое положение, напряжения на кромке пласта резко возрастают, и под их действием она начинает интенсивно деформироваться и разрушаться, пока напряжения не снизятся до величины, которую может выдерживать частично разрушенный уголь. Как известно, основная часть этих деформаций происходит практически мгновенно, за доли секунды. Давление газа на контакте с обнаженной поверхностью падает до нуля. В течение по крайней мере нескольких минут после перемещения забоя в новое положение создается очень высокий градиент газового давления, вблизи забоя активные силы резко возрастают, а пассивные, наоборот, резко снижаются (рис.2).

a



б

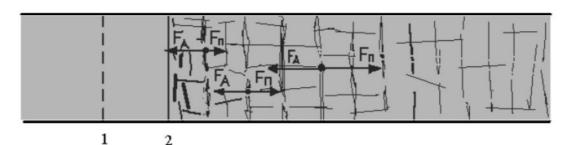


Рис.2. Схема изменения состояния массива при подвигании забоя

В подготовленном к выбросу массиве в прилежащей к забою части пласта активная сила существенно превысит пассивную. Потенциальная энергия, обусловленная этим превышением, может быть достаточно большой для того, чтобы переместить угольную массу на значительное расстояние, измеряемое в метрах. В результате смещается слой угля в виде призмы между забоем и какой-либо близкой к нему системой трещин (назовем ее инициирующей внезапный выброс системой трещин), в которой достигнута максимальная величина отношения *Fa/Fn*.

Принимая во внимание, согласно приведенным

выше рассуждениям, что совсем не обязательно разрушится первым слой угля между точкой приложения максимальной активной силы и забоем, корректнее будет использовать для оценки возможности нарушения равновесного состояния массива соотношение не самих сил, а их градиентов. То есть силовое условие нарушения равновесного состояния (силовой критерий выбросоопасности) угольного массива запишется в виде

 $R_o$  = grad  $F_a$  /grad  $F_n \ge 1$ .

Показатель  $R_{\rm o}$  положен в основу расчета невыбросоопасных параметров подвигания очистного за-

боя и разработки показателя выбросоопасности очистного забоя в процессе его подвигания, применение которых на практике позволяет обеспечивать безопасность в очистных забоях угольных шахт, существенно не сдерживая темпов их подвигания.

#### Литература

- 1. Шак А.Ф., Мирер С.В. Влияние строения и состава основной кровли на выбросоопасность угольных пластов // Уголь Украины. – 1974. – № 2. – С. 35-37.
- 2. Николин В.И., Воронин В.А., Кулаковский В.Н. Основные решения по предотвращению внезапных выбросов в лавах шахт Донецко-Макеевского района // Уголь Украины. – 1974. – № 9. – С. 29-30.
- 3. Русаков Н.Г., Кравченко В.И. Выбор комплекса технологических мероприятий в борьбе с выбросами в лавах // Безопасность труда в промышленности. – 1973. – № 3. - C. 31-33.
- 4. Мурашев В.И. Механизм развязывания внезапных выбросов угля и газа в горных выработках // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. - М.: Недра, 1978.-C.140-161.

- 5. Зыков В.С., Желтков И.В. Исследование особенностей и уточнение механизма внезапного выброса угля и газа в очистном забое // Безопасность угольных предприятий: Сб. науч. тр./ НЦ ВостНИИ. - Кемерово, 2001. -C. 16-25.
- 6. Пузырев В.Н., Балашова Т.А., Алексеев Д.В. О возможном явлении гистерезиса сорбции метана выбросоопасным углем при возбуждении колебаний давления свободного газа // Уголь. - 1993. - № 6. - С. 46-48.
- 7. Балашова Т.А. Влияние изгиба труднообрушаемой кровли пла-ста на эпюру горного давления // Вестник Куз-ΓΤУ. – 1988. – № 4. – C. 29-31.
- 8. Зыков В.С. Некоторые новые представления о формировании выбросоопасного состояния угольного массива // Безопасность угольных предприятий: Сб. науч. тр. / НЦ ВостНИИ. – Кемерово, 2001. – С. 9-15.
- 9. Зыков В.С., Желтков И.В. Исследование особенностей и уточнение механизма внезапного выброса угля и газа в очистном забое // Безопасность угольных предприятий: Сб. науч. тр./ НЦ ВостНИИ. - Кемерово, 2001. -

Виктор Семенович Зыков, глав.научн. сотр., зав.лабораторией, д-р техн. наук, профессор, тел.раб.(3842)58-00-40, com.8-903-067-63-08, E-mail: zykovvs@icc.kemsc.ru, Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ, Кемеровский филиал

УДК 53.092: 531-3

Ю.В.Заморкина, Д.В.Сидоров

### ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РУДЫ НА ХИАГДИНСКОМ УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Приведены результаты оценки напряженно-деформированного состояния рудной залежи при подземном выщелачивании урана. Получены закономерности изменения эффективности подземного выщелачивания руды от размеров отработанных участков и деформационных свойств рудной залежи. Для повышения эффективности подземного выщелачивания руды на Хиагдинском урановом месторождении предложены поправочные коэффициенты, позволяющие корректировать параметры сетки нагнетательных и добычных скважин (радиус эффективной обработки залежи) на участках с различным уровнем напряженно-деформированного состояния.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: урановое месторождение: подземное вышелачивание: напряженно-деформированное состояние: параметры скважин.

Yu.V.Zamorkina, D.V.Sidorov

#### GEOMECHANICAL REASONS FOR EFFICIENCY OF UNDERGROUND LEACHING OF ORE ON THE HIAGDINSKY URANIUM FIELD

The results of the evaluation of the stress-strain state of the ore deposits in underground leaching of uranium. Regularities of changes in the efficiency of in-situ leaching of ore on the size of the abandoned places and deformation properties of the ore deposit. To improve the efficiency of underground leaching of ore to uranium deposit Khiagdinskoye suggested correction factors, allows you to adjust the parameters of the grid injection and production wells (the radius of the effective processing of deposits) in areas with different levels of stress-strain state.

**KEY WORDS:** uranium deposit; underground leaching; the stress-strain state parameters of wells.



Ю.В.Заморкина Д.В.Сидоров



Актуальность работы.

Геомеханические исследования кономерностей снижения эффективности подземного выщелачивания руды на основе

оценки напряженно-деформированного состояния техногенно-нарушенного массива горных пород проводились в соответствии с целями и задачами ОАО «АРМЗ» для обеспечения стабильной добычи урана способом подземного выщелачивания на Хиагдинском месторождении в различных горно-геологических условиях.

Опыт проведения фильтрационных работ на других рудниках показывает, что к основным факторам, определяющим условия подземного выщелачивания, ре-

жим и параметры нагнетания, а также схемы заложения скважин, относятся конфигурация (размеры) зоны обработки и фильтрационное сопротивление рудной залежи. При этом густота сетки скважин определяется водопроводимостью залежи, которая является сложной функцией геологических и горно-технических условий в зоне обработки и главным образом используется лишь для сравнительной оценки условий обработки различных участков.

В работе [1] показано, что с ростом глубины залегания, степени нарушенности, газоносности, уменьшением мощности залежей их водопроводимость снижается, вследствие чего уменьшается радиус эффективной обработки, увеличивается давление и время нагнетания. При прочих равных условиях на залежах с меньшей водопроводимостью необходимо применять более плотную сетку нагнетательных скважин и более мощное насосное оборудование.

Основной целью работы являлось исследование закономерностей изменения эффективности подземного выщелачивания руды в зависимости от размеров отработанных участков и деформационных свойств рудной залежи, а также разработки рекомендаций по повышению эффективности подземного выщелачивания руды на Хиагдинском месторождении.

Горно-геологическая характеристика Хиагдинского месторождения. Урановое оруденение слагает непрерывные залежи протяженностью от 1000 до 5900 м и шириной 100-500 м. Урановорудные залежи с кондиционными параметрами оруденения разобщены, а их протяженность колеблется от 200 до 4960 м при ширине от 35 до 285 м, в среднем 74 м. Форма их слабоизвилистая и прямолинейная, по периферии они окаймляются ореолом маломощных разобщенных некондиционных руд шириной от первых метров до 300 м. Рудная залежь обычно состоит из одного или нескольких сближенных по вертикали рудных интервалов мощностью от десятков сантиметров до 20 м. Пример геологического строения рудных залежей Хиагдинского месторождения показан на рис.1.

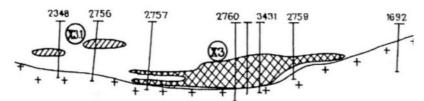


Рис.1. Пример геологического строения залежей Хиагдинского месторождения

( урановое оруденение)

Анализ геологического строения продуктивной толщи Хиагдинсокого месторождения позволяет сделать следующие выводы, необходимые для формулирования исходных данных для геомеханических расчетов: ширина рудных залежей изменяется от 15 до 260 м (как правило, от 20 до 100 м); мощность рудных залежей изменяется от 0,3 м до 20 м до полного выклинивания (участки непромышленного оруденения) (как правило, от 0 м до 10 м); рудная залежь, как правило, представлена песками среднезернистыми.

Методика оценки напряженнодеформированного состояния рудной залежи при подземном выщелачивании. Анализ геомеханического состояния горного массива показывает, что разнообразие горно-геологических и горнотехнических факторов существенно влияет на его напряженно-деформированное состояние. Возможность выявления закономерностей распределения напряжений в рудной залежи вследствие влияния широкого диапазона факторов может быть основана на предложенной ниже расчетной методике.

Напряженно-деформированное состояние вмещающих пород и рудной залежи в необработанной растворами области удовлетворительно описывается следующим соотношением [2]:

$$W(x, y)|_{z=0} = 2 \cdot (1-v) \cdot \varphi_1 + (0, 5-v) \cdot \psi,$$
 (1)

где  $W(x,y)\big|_{z=0}$  — вертикальные перемещения точек граничной плоскости Z=0, м;  $\nu$  - коэффициент Пуассона материала породы;  $\phi_1$  - потенциал, учитывающий действие нормальных напряжений, м;  $\psi$  - потенциал, учитывающий действие касательных напряжений, м; x, y – координаты плоскости отработки рудной залежи. м.

Левая часть в уравнении (1) при условии дополнительного увлажнения рудной залежи выщелачивающими растворами, а также с учетом осадки (обжатия) материала залежи (естественной податливости) может быть представлена в виде суммы двух слагаемых [3]:

$$W(x, y)|_{Z=0} = \frac{1}{2}W_{OC} + \frac{1}{2}W_{YBJ}(x, y),$$
 (2)

где  $W_{\text{ос}}$  – осадка (обжатие) рудной залежи, м;  $W_{\text{УВЛ}}(x,y)$  – дополнительные деформации рудной залежи в результате увлажнения ее выщелачивающими растворами, м.

Приравнивая правые части уравнении (1) и (2), получим следующее тождественное равенство:

$$2 \cdot (1 - \nu_{\Pi}) \cdot \varphi_{1} + (0, 5 - \nu_{\Pi}) \cdot \psi = \frac{1}{2} W_{oc} + \frac{1}{2} W_{yBJ}(x, y).$$
 (3)

Потенциалы  $\phi_1$  и  $\psi$  определяются по следующим формулам:

$$\varphi_1 = \frac{1+\nu}{2 \cdot \pi \cdot \mathbf{E}_n} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sigma_z(\xi, \eta) \, \mathrm{d}\xi \mathrm{d}\eta}{R} ; \quad (4)$$

$$\psi = \int_{0}^{\infty} \left( \frac{\partial \varphi_{2}}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_{3}}{\partial y} \right) dz , \qquad (5)$$

где  $E_n$  - модуль упругости вмещающих пород, МПа; v - коэффициент Пуассона;  $\sigma_z(\xi,\eta)$  - значения искомых дополнительных напряжений  $\sigma_z$  на граничной плоскости z=0;  $R = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}$  — расстояние на граничной плоскости z=0 между точками с координатами (x,y) и  $(\xi,\eta)$ , м.

Составляющие  $\phi_2$  и  $\phi_3$ , входящие в уравнение (5), можно рассчитать по следующим зависимостям:

$$\varphi_2 = -\frac{1+\nu}{\pi \cdot E_n} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\tau_{xz}(\xi, \eta) \, \mathrm{d}\xi \mathrm{d}\eta}{R} ; \qquad (6)$$

$$\varphi_3 = -\frac{1+\nu}{\pi \cdot \mathbf{E}_n} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\tau_{yz}(\xi, \eta) \,\mathrm{d}\xi \mathrm{d}\eta}{R}, \quad (7)$$

где  $\, \tau_{xz}(\xi,\, \eta) \, , \, \, \tau_{yz}(\xi,\, \eta) \,$  - значения дополнительных напряжений  $\, \tau_{xz} \, , \, \, \tau_{yz} \,$  на граничной плоскости z=0.

Влияние естественной податливости, то есть определение степени сжатия краевой части рудной залежи, описывается следующим выражением:

$$W_{OC} = \frac{\sigma_Z}{E_P} m_P, \qquad (8)$$

где  $\sigma_Z$  - значения искомых дополнительных напряжений на граничной плоскости z=0;  $E_p$  – модуль упругости руды, МПа (на участках подверженных обработке выщелачивающими растворами модуль упругости руды необходимо принимать с учетом влияния увлажнения);  $m_p$  – мощность рудной залежи, м.

Подставляя (4), (5) и (8) в исходное выражение (3), получаем интегральное уравнение для расчета вертикальной составляющей напряжения  $\sigma_Z$  в рудной залежи. Полученное интегральное уравнение за счет влияния входящих в него потенциалов  $\phi_2$  и  $\phi_3$  является интегральным уравнением сложной структуры. Следует отметить, что при угле падения залежи до  $25 \div 30^\circ$  количественная поправка за счет влияния касательных напряжений не превышает  $5 \div 8\%$  и, следовательно, в сформулированной выше общей постановке пространственной задачи членами  $\phi_2$  и  $\phi_3$  в уравнении (3) можно пренебречь и рассматривать интегральное уравнение (3) в следующем виде:

$$2 \cdot (1 - v_{\Pi}) \cdot \varphi_{1} = \frac{1}{2} W_{OC} + \frac{1}{2} W_{yBJ}(x, y)$$
, (9)

В полученном интегральном уравнении (9) все оставшиеся члены примерно одинаковой механической значимости: потенциал —  $\phi_1$ , естественная податливость рудного элемента —  $W_{\text{ос}}$  и техногенная податливость —  $W_{\text{УВЛ}}(x,y)$ . В дальнейшем изучается граничное интегральное уравнение в форме (9). Выражение (4) можно представить в следующем виде:

$$\varphi_{1} = \frac{1 + v_{\Pi}}{2 \cdot \pi \cdot E_{\Pi}} \left( \iint_{S_{1} + S_{2}} \frac{\sigma_{z}(\xi, \eta) d\xi d\eta}{R} + \iint_{S_{0}} \frac{q_{z}(\xi, \eta) d\xi d\eta}{R} \right), (10)$$

где  $q_z$  — известная функция, так как напряжения, задаваемые внутри нагнетательных скважин, известны;  $S_1$  и  $S_2$  — области элементов рудной залежи;  $S_0$  — область, принадлежащая нагнетательным скважинам.

Подставляя (10) в (9), получим окончательное интегральное уравнение для расчета вертикальной составляющей напряжения  $\sigma_z$  в необработанной выщелачивающим раствором части рудной залежи. Для

его решения могут быть применены стандартные методы, например, сведение к системе линейных алгебраических уравнений достаточно высокого порядка для достижения необходимой точности вычислений.

При наличии на участке подземного выщелачивания зон разгрузки или повышенного горного давления радиус эффективного увлажнения R<sub>увл</sub> необходимо корректировать с учетом рекомендаций, изложенных в [1]:

$$R_{ver} = K_{ver} \cdot R_{ver} , \qquad (11)$$

где  $K_{yea} = e^{-\alpha(\sigma_z - 1)}$  – коэффициент, учитывающий напряженно-деформированное состояние участков рудной залежи ( $\alpha$ =0,25-0,5).

С учетом предложенных методических положений был усовершенствован программный комплекс «PRESS 3D URAL» [4], используемый в дальнейшем для выполнения компьютерного моделирования.

Оценка эффективности подземного выщелачивания руды. При численных расчетах принимались следующие исходные данные: ширина участков рудной залежи, обработанных выщелачивающим раствором в диапазоне L=25 м, 75 м, 100 м; мощность залежи в диапазоне  $m_P$  =1 м, 5 м, 10 м. Модуль упругости руды<sup>\*)</sup>, необработанной выщелачивающим раствором, Е₀=500 МПа, модуль упругости руды (среднезернистых песков), обработанной выщелачивающим раствором, Е<sub>р,УВЛ</sub>=250 МПа (на участках подверженных обработке выщелачивающими растворами модуль упругости руды необходимо принимать с учетом влияния увлажнения на 50% меньше); модуль упругости вмещающих пород E<sub>п</sub>=10<sup>4</sup> МПа. Коэффициент Пуассона материала породы у =0,3. Основная расчетная схема приведена на рис.2.

Результаты оценки напряженнодеформированного состояния рудной залежи, а также поправочных коэффициентов к расстоянию между рядами скважин приведены в табл.1.



Рис.2. Основная расчетная схема

Результаты оценки эффективности подземного выщелачивания руды при различных горногеологических условиях приведены на рис.3.

Таблица 1

#### Результаты численного моделирования

Параметры блока А (участок, о выщелачивающим раст				участок, необработанный	$K_{yan} = e^{-\alpha(\sigma_z - 1)}$
L, м	выщелачива	ющим раствором)	выщелачива	ющим раствором) Т	$\mathbf{K}_{yen} = e$
	m <sub>р</sub> , м	$W_{ m yвл}$ , м	m <sub>p</sub> , м	$\sigma_z = \sigma_{z,\partial on} - 1$	
0-	1	0,01	1	1,36	0,84
	5	0,05	1	1,58	0,75
	10	0,10	1	1,63	0,73
	1	0,01	5	1,11	0,95
25	5	0,05	5	1,19	0,91
	10	0,10	5	1,21	0,90
	1	0,01	10	1,06	0,97
	5	0,05	10	1,10	0,95
	10	0,10	10	1,12	0,94
	1	0,01	1	1,46	0,80
	5	0,05	1	1,89	0,64
	10	0,10	1	2,02	0,60
	1	0,01	5	1,15	0,93
50	5	0,05	5	1,32	0,85
	10	0,10	5	1,37	0,83
	1	0,01	10	1,09	0,96
	5	0,05	10	1,18	0,91
	10	0,10	10	1,21	0,90
	1	0,01	1	1,52	0,77
	5	0,05	1	2,21	0,55
	10	0,10	1	2,48	0,48
	1	0,01	5	1,18	0,91
100	5	0,05	5	1,46	0,80
	10	0,10	5	1,57	0,75
	1	0,01	10	1,10	0,95
	5	0,05	10	1,27	0,87
	10	0,10	10	1,34	0,84

Анализ полученных результатов. Подземное выщелачивание урана на участках малой мощности (m=1 м) выдержанной гипсометрии приводит к формированию зоны пригрузки на необработанной площади участка Б с концентрацией напряжений, превышающей в 1,3-1,5 раза напряжения нетронутого массива горных пород (рис.3, а). По мере увеличения мощности рудной залежи ее влияние снижается и не превышает 10% напряжений нетронутого массива горных пород (при m=10 м), что связано со значительной податливостью (деформируемостью) залежи.

Увеличение ширины рудной залежи приводит к дополнительному росту концентрации напряжений на необработанных участках залежи в среднем на 10-15% при увеличении ширины рудной залежи с 20 м до 100 м (рис.3, б-г).

Существенно влияние на рост напряжений на необработанном участке Б оказывает изменение мощности рудной залежи. При этом наибольшее влияние будет проявляться при переходе работ с участков большой мощности (m=10 м) на маломощные участки (m=1 м), как правило расположенных вблизи границ кондиционных и некондиционных руд,

а также при увеличении ширины рудной залежи. Как показали результаты расчетов, концентрация напряжений на таких участках может превышать в 2,0-2,5 раза уровень напряжений нетронутого массива горных пород и, как следствие, требует существенной корректировки сетки скважин (рис.3, г).

#### Заключение

В ходе выполнения научных исследований разработаны теоретические положения по оценке напряженно-деформированного состояния рудной залежи применительно к задачам подземного выщелачивания урана.

Анализ полученных закономерностей изменения напряженного состояния необработанных участков залежи и эффективности подземного выщелачивания руды от размеров отработанных участков и деформационных свойств рудной залежи позволил заключить, что наиболее сложные условия подземного выщелачивания урана будут наблюдаться при ведении горных работ на маломощных участках и при подходе очистных работ к маломощным участкам залежи.

Для повышения эффективности подземного

выщелачивания урана на Хиагдинском урановом месторождении предложены поправочные коэффициенты, позволяющие корректировать параметры сетки нагнетательных и добычных скважин (радиус эффективной обработки залежи) на участках с различным уровнем напряженно-деформированного состояния.

Следует отметить, что настоящие рекоменда-

ции носят предварительный исследовательский характер. При необходимости уточнения практических рекомендаций для отработки каждой из залежей Хиагдинского месторождения необходимо проведение работ, направленных на более глубокое изучение данных о физико-механических свойствах горных пород и руд.

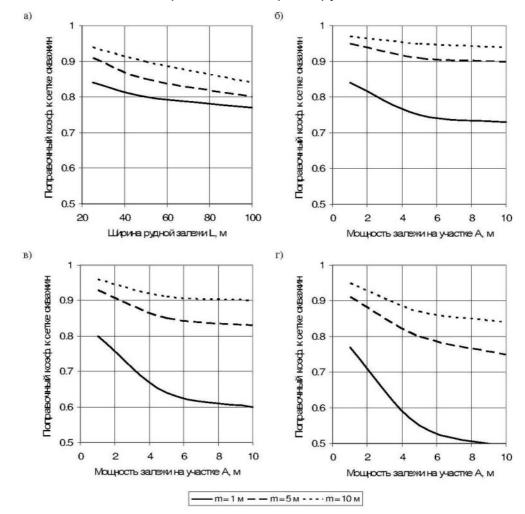


Рис. 3. Результаты оценки эффективности подземного выщелачивания руды на необработанном участке Б:

а – в зависимости от ширины обработанных участков A и мощности рудной залежи; б, в, г – в зависимости от мощности обработанных участков A и необработанных участков Б при L = 25 м; L = 50 м; L = 100 м

#### Литература

- 1. Петухов И.М. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие / И.М.Петухов, А.М.Линьков, В.С.Сидоров и др. М.: Недра, 1992. 256 с.
- 2. Лурье А.И. Пространственные задачи теории упругости. Гостехиздат, 1955.
- 3. Сидоров Д.В. Разработка метода оценки напряженного состояния и удароопасности пологих рудных залежей: Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20 / Д.В.Сидоров. СПб., 2003. 197 с.
- 4. Свидетельство о государственной регистрации № 2012618481 от 19.09.2012. Программа для ЭВМ «PRESS 3D URAL» / Д.В.Сидоров. Роспатент. М., 2012.

Юлия Владимировна Заморкина, студент, E-mail: yulia291292@bk.ru;

Сидоров Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент, кафедра разработки месторождений полезных ископаемых, тел. (812) 328-84-40, E-mail: sidorov@spmi.ru (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г.Санкт-Петербург)

<sup>\*)</sup>С учетом примечания к п.5.5.31 гл. 5 "Определение осадки основания" СП 50-101-2004 модуль упругости рекомендуется определять как  $E_{ynp}$ =5 $E_{ge\phi}$ , где  $E_{ge\phi}$  – модуль общей деформации залежи (для песков среднезернистых соответствует 100 МПа). Тогда  $E_p$  =  $E_{ynp}$ =500 МПа.

УДК 539.3

В.К.Мусаев

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ УПРУГИХ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ В ОБЪЕКТЕ ХРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

Приводится некоторая информация моделирования безопасности по несущей способности (прочности) при упругом взрывном воздействии в объекте хранения опасных веществ с помощью метода конечных элементов. Для решения поставленной задачи применяется волновое уравнение механики деформируемого твердого тела.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** моделирование; безопасность; несущая способность; прочность; объект хранения опасных веществ; взрывное воздействие; упругие волны; метод конечных элементов; механика деформируемого твердого тела; контурное напряжение.

V.K.Musayev

# MATHEMATICAL MODELING OF ENVIRONMENTAL SECURITY IN UNSTEADY ELASTIC EXPLOSION IN THE OBJECT STORING HAZARDOUS SUBSTANCES

Abstract: Provides some information modeling security bearing capacity (strength) at the elastic explosive impact in the object storing hazardous substances using the finite element method. To solve this task applies the wave equation in mechanics of deformable solids.

**KEY WORDS:** modeling; security; load-carrying capacity; durability; object storage of hazardous substances; explosive impact; elastic waves; finite element method; mechanics of deformable solids; dual voltage.

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ



В настоящее время обеспечение безопасности уникальных объектов является приоритетной задачей фундаментальной и прикладной науки.

Некоторая информация о практической реализации разработанной методики, алгоритма и комплекса

программ приведена в следующих работах [1–17].

Для решения задачи о моделировании упругих волн в деформируемых областях сложной формы рассмотрим некоторое тело  $\Gamma$  в прямоугольной декартовой системе координат XOY, которому в начальный момент времени t=0 сообщается механическое воздействие. Предположим, что тело  $\Gamma$  изготовлено из однородного изотропного материала, подчиняющегося упругому закону Гука при малых упругих деформациях.

Точные уравнения двумерной (плоское напряженное состояние) динамической теории упругости имеют вид:

$$\begin{split} \frac{\partial \sigma_{x}}{\partial X} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial Y} &= \rho \frac{\partial^{2} u}{\partial t^{2}} , \ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{y}}{\partial Y} = \rho \frac{\partial^{2} v}{\partial t^{2}} , \\ (x,y) &\in \Gamma , \\ \sigma_{x} &= \rho C_{p}^{2} \varepsilon_{x} + \rho (C_{p}^{2} - 2C_{s}^{2}) \varepsilon_{y} , \\ \sigma_{y} &= \rho C_{p}^{2} \varepsilon_{y} + \rho (C_{p}^{2} - 2C_{s}^{2}) \varepsilon_{x} , \ \tau_{xy} = \rho C_{s}^{2} \gamma_{xy} , \\ \varepsilon_{x} &= \frac{\partial u}{\partial X} , \ \varepsilon_{y} = \frac{\partial v}{\partial Y} , \ \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial Y} + \frac{\partial v}{\partial X} , \\ (x,y) &\in (\Gamma \cup S) , \end{split}$$

где  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  – компоненты тензора упругих напряжений;  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$  и  $\gamma_{xy}$  – компоненты тензора упругих деформаций; u и v – составляющие вектора упругих перемещений вдоль осей OX и OY соответ-

ственно;  $\rho$  – плотность материала;  $C_p = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-v^2)}}$ 

— скорость продольной упругой волны; 
$$C_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \ - \text{скорость поперечной упругой вол-}$$

ны;  $\nu$  – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости; S ( $S_1 \cup S_2$ ) – граничный контур тела  $\Gamma$ .

Систему (1) в области, занимаемой телом  $\Gamma$ , следует интегрировать при начальных и граничных условиях.

#### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМА

Для решения двумерной нестационарной динамической задачи математической теории упругости с начальными и граничными условиями (1) используем метод конечных элементов в перемещениях.

Принимая во внимание определение матрицы жесткости, вектора инерции и вектора внешних сил для тела  $\Gamma$ , записываем приближенное значение уравнения движения в теории упругости:

$$\overrightarrow{H}\ddot{\Phi}+\overrightarrow{K}\vec{\Phi}=\overrightarrow{R}$$
,  $\overrightarrow{\Phi}\big|_{t=0}=\overrightarrow{\Phi}_0$ ,  $\overrightarrow{\Phi}\big|_{t=0}=\overrightarrow{\Phi}_0$ , (2) где  $\overrightarrow{H}$  – диагональная матрица инерции;  $\overrightarrow{K}$  – матрица жесткости;  $\overrightarrow{\Phi}$  – вектор узловых упругих перемещений;  $\dot{\overrightarrow{\Phi}}$  – вектор узловых упругих скоростей перемещений;  $\ddot{\overrightarrow{\Phi}}$  – вектор узловых упругих ускорений;  $\overrightarrow{R}$  – вектор внешних узловых упругих сил.

Интегрируя уравнение (2) конечноэлементным

вариантом метода Галеркина, получим явную двухслойную конечноэлементную линейную схему в перемещениях для внутренних и граничных узловых точек:

$$\vec{\dot{\Phi}}_{i+1} = \vec{\dot{\Phi}}_i + \Delta t \overline{H}^{-1} (-\overline{K} \vec{\Phi}_i + \overline{R}_i),$$

$$\vec{\Phi}_{i+1} = \vec{\Phi}_i + \Delta t \vec{\dot{\Phi}}_{i+1}.$$
(3)

Шаг по временной переменной координате  $\Delta t$  выбирается из следующего соотношения:

$$\Delta t = 0.5 \frac{\min \Delta l_i}{C_p} (i = 1, 2, 3, ...),$$
 (4)

где  $\Delta l$  – длина стороны конечного элемента.

На основе метода конечных элементов в перемещениях разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения двумерных линейных и нелинейных задач при различных начальных и граничных условиях, для областей сложной формы. Комплексы программ написаны на алгоритмическом языке Фортран-90.

В работах приведена информация о достоверности численного моделирования нестационарных волн напряжений в областях различной формы [1–2, 6–9, 11, 13–17].

#### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ВОЗДЕЙСТВИИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ В ОБЪЕКТЕ ХРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

Рассмотрим задачу о воздействии нестационарной взрывной волны (рис.3) в объекте хранения опасных веществ (рис.1).

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: 1 кгс/см $^2$ ≈0,1 МПа; 1 кгс  $c^2$ /см $^4$  ≈  $10^9$  кг/м $^3$ .

По нормали к контуру FGHI приложено нормальное напряжение  $\sigma_n$ , которое при  $0 \le n \le 10$  (  $n=t/\Delta t$  ) изменяется линейно от 0 до P, а при  $10 \le n \le 20$  от P до 0 (  $P=\sigma_0$  ). На контуре GF приложено нормальное напряжение  $\sigma_y$  (  $\sigma_y = \sigma_0$  ,  $\sigma_0 = 0,1$  МПа (1 кгс/см²)). На контуре HI приложено нормальное напряжение  $\sigma_y$  (  $\sigma_y = \sigma_0$  ,  $\sigma_0 = -0,1$  МПа (-1 кгс/см²)). На контуре FI приложено нормальное напряжение  $\sigma_x$  (  $\sigma_x = \sigma_0$  ,  $\sigma_0 = 0,1$  МПа (1 кгс/см²)). На контуре GH приложено нормальное напряжение  $\sigma_x$  (  $\sigma_x = \sigma_0$  ,  $\sigma_0 = -0,1$  МПа (-1 кгс/см²)).

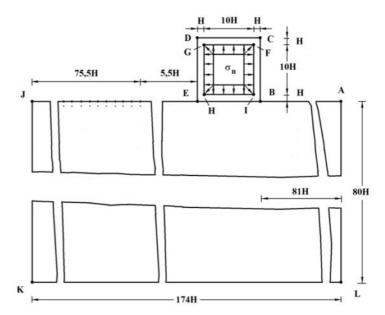


Рис.1. Постановка задачи о воздействии упругой взрывной волны в объекте хранения опасных веществ

Граничные условия для контура JKLA при  $\,t>0\,$   $u=v=\dot{u}=\dot{v}=0\,.$  Отраженные волны от контура JKLA не доходят до исследуемых точек при  $0\le n\le 200\,.$  Контур ABCDEJ свободен от нагрузок.

Расчеты проведены при следующих исходных данных:  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$  c;  $E = 3,15 \cdot 10^4$  МПа (3,15·10  $^5$  кгс/см²); V = 0,2;  $\rho = 0,255 \cdot 10^4$  кг/м³ (0,255·10 $^5$  кгс с²/см⁴);  $C_p = 3587$  м/с;  $C_s = 2269$  м/с.

Исследуемая расчетная область имеет 14250 узловых точек. Решается система уравнений из 57000 неизвестных.

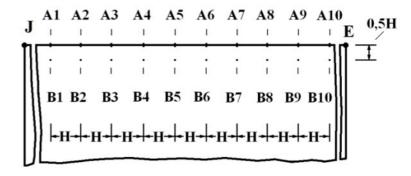


Рис.2. Точки, в которых получены упругие напряжения во времени

На рис.4–8 показано изменение упругого контурного напряжения  $\overline{\sigma}_k$  (  $\overline{\sigma}_k = \sigma_k / |\sigma_0|$  ) во времени n в точках A1 - A5 (рис.2), находящихся на свободной поверхности упругой полуплоскости.

Растягивающее упругое контурное напряжение  $\overline{\sigma}_k$  от точки A1 до точки A10 изменяется от значения  $\overline{\sigma}_k=0,\!2$  до значения  $\overline{\sigma}_k=0,\!326$ . Сжимающее упругое контурное напряжение  $\overline{\sigma}_k$  от точки A1 до точки A10 изменяется от значения  $\overline{\sigma}_k=-0,\!191$  до значения  $\overline{\sigma}_k=-0,\!259$ .

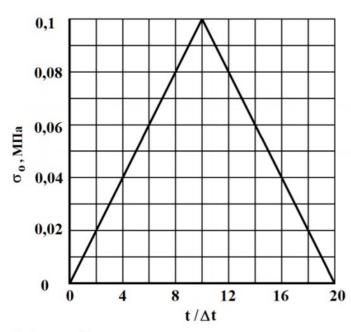


Рис.3. Воздействие в виде треугольного импульса

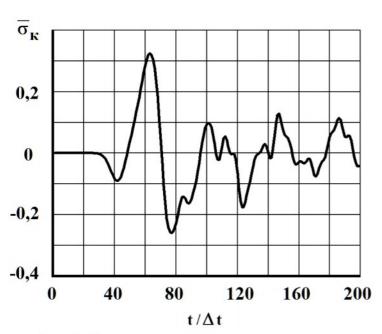


Рис.4. Изменение упругого контурного напряжения  $\overline{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке A1

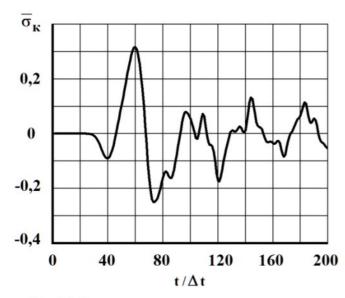


Рис.5. Изменение упругого контурного напряжения  $\overline{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке A2

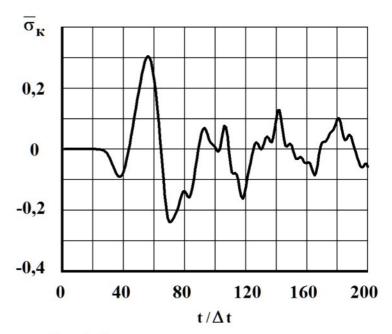


Рис.6. Изменение упругого контурного напряжения  $\overline{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке A3

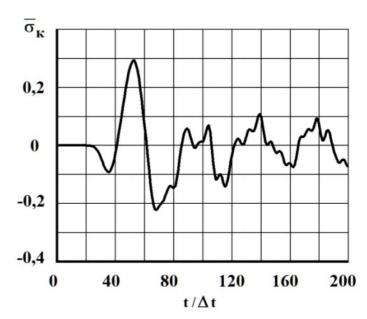


Рис.7. Изменение упругого контурного напряжения  $\overline{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке A4

Растягивающее упругое нормальное напряжение  $\overline{\sigma}_{x}$  ( $\overline{\sigma}_{x}=\sigma_{x}$  / $|\sigma_{0}|$ ) от точки B1 до точки B10 изменяется от значения  $\overline{\sigma}_{x}=0,\!22$  до значения  $\overline{\sigma}_{x}=0,\!301$ . Сжимающее упругое напряжение  $\overline{\sigma}_{x}$  от точки B1 до точки B10 изменяется от значения  $\overline{\sigma}_{x}=-0,\!178$  до значения  $\overline{\sigma}_{x}=-0,\!204$ .

Растягивающее упругое нормальное напряжение  $\overline{\sigma}_y$  ( $\overline{\sigma}_y = \sigma_y / |\sigma_0|$ ) от точки B1 до точки B10 изменяется от значения  $\overline{\sigma}_y = 0{,}414$  до значения  $\overline{\sigma}_y = 0{,}522$ . Сжимающее упругое напряжение  $\overline{\sigma}_y$  от точки B1 до точки B10 изменяется от значения  $\overline{\sigma}_y = -0{,}174$  до значения  $\overline{\sigma}_y = -0{,}233$ .

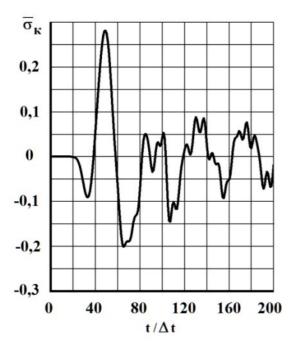


Рис. 8. Изменение упругого контурного напряжения  $\overline{\sigma}_k$  во времени  $t/\Delta t$  в точке A5

Растягивающее упругое касательное напряжение  $\overline{\tau}_{xy}$  ( $\overline{\tau}_{xy} = \tau_{xy}/|\sigma_0|$ ) от точки  $B_1$  до точки B10 изменяется от значения  $\overline{\tau}_{xy} = 0{,}085$ . Сжимающее упругое касательное напряжение  $\overline{\tau}_{xy}$  от точки B1 до точки B10 изменяется от значения  $\overline{\tau}_{xy} = -0{,}81$  до значения  $\overline{\tau}_{xy} = -0{,}114$ .

#### Литература

- 1. Musayev V.K. Testing of stressed state in the structure-base system under non-stationary dynamic effects // Proceedings of the second International conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics. Sent Louis: University of Missouri-Rolla, 1991. V. 3. P.87—97.
- 2. Мусаев В.К. Численное решение волновых задач теории упругости и пластичности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия прикладная математика и информатика. 1997. № 1. С. 87–110.
- 3. Мусаев В.К. Численное решение некоторых задач безопасности жизнедеятельности с помощью метода конечных элементов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. 2005. № 1. С. 17—23.
- 4. Мусаев В.К. О некоторых возможностях математического моделирования и численного компьютерного эксперимента // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. 2006. № 1. С. 81—86.

  5. Мусаев В.К. Математическое моделирование
- 5. Мусаев В.К. Математическое моделирование упругих волн напряжений в сложных деформируемых телах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. 2007. №1. С. 62—76.

- 6. Мусаев В.К. Об оценке достоверности и точности численного решения нестационарных динамических задач // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. 2007. № 3. С. 48—60.
- 7. Мусаев В.К. Численное, аналитическое и экспериментальное решение задачи о концентрации нестационарных динамических напряжений в свободном круглом отверстии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. 2008. № 4. С. 67—71.
- 8. Мусаев В.К. Оценка достоверности и точности результатов вычислительного эксперимента при решении задач нестационарной волновой теории упругости // Научный журнал проблем комплексной безопасности. 2009. № 1. С. 55—80.
- 9. Мусаев В.К. О достоверности результатов численного метода решения сложных задач волновой теории упругости при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях // Ученые записки Российского государственного социального университета. 2009. № 5. С. 21—33.
- 10. Мусаев В.К. Моделирование волн напряжений в сложных областях с помощью метода вычислительной механики // Исследования по теории сооружений. 2010. № 2. С. 44—52.
- 11. Мусаев В.К. Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы // Исследования по теории сооружений. — 2010. — № 2. — С. 138—149.
- 12. Мусаев В.К. О моделировании безопасности технических объектов от взрывных воздействий // Стратегическая стабильность. 2013. № 1. С. 69—72.
- 13. Мусаев В.К. О достоверности результатов математического моделирования нестационарных волн напряжений в объектах сложной формы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 3. С. 71—76.
- 14. Мусаев В.К., Ситник С.В., Тарасенко А.А., Ситник В.Г., Зюбина М.В. Математическое моделирование интерференции нестационарных упругих волн напряжений в виде треугольного импульса от свободной поверхности пластинки // Современные проблемы науки и образования. 2014. №4; URL: www.science-education.ru/118-14118 (дата обращения: 21.09.2014).
- 15. Мусаев В.К., Ситник С.В., Тарасенко А.А., Ситник В.Г., Зюбина М.В. Математическое моделирование отражения нестационарных упругих волн напряжений в виде треугольного импульса от свободной поверхности пластинки // Фундаментальные исследования. 2014. № 9 (часть 7). С. 1466—1470.
- 16. Мусаев В.К. Численное моделирование распространения плоских продольных волн напряжений в виде треугольного импульса с большой линейной нисходящей частью в упругой полуплоскости // Проблемы безопасности российского общества. 2014. № 2. С. 102—112.
- 17. Мусаев В.К. О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11. С. 10—14.

Вячеслав Кадыр оглы Мусаев, д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное дело» Московского государственного машиностроительного университета, тел. 89265670558, E-mail: musayev-vk@yandex.ru

УДК 504.054

С.Е.Германова, В.С.Полянская, И.И.Хайдарова

#### ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНОВ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ В ПРЕДЕЛАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Рассмотрены проблемы, возникающие при загрязнении почв нефтепродуктами и нефтепромысловыми сточными водами в республике Башкортостан.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геохимические изменения почвы; допускаемый уровень концентрации нефти в почве.

S.E.Germanova, V.S.Polyanskaya, I.I.Khaydarova

#### PROBLEM OF POLLUTION OF SOILS OF OIL-EXTRACTING REGIONS OF THE SOUTHERN CIS-URALS WITHIN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

The problems arising at pollution of soils oil products and oil-field sewage in the Republic of Bashkortostan are considered. KEY WORDS: geochemical changes of the soil; the allowed level of concentration of oil in the soil.







С.Е.Германова В.С.Полянская И.И.Хайдарова

Сырая нефть впервые была добыта в значительных количествах в 1880 г. и с тех пор ее добыча росла экспоненциально, превышая сейчас 3,2×10<sup>12</sup> т ежегодно (в мире). Очищенные нефтяные продукты постоянно расходуются на удовлетворение более 60% мировых энергетических потребностей, а ведь практически невозможно применять продукцию в таких количествах без некоторых потерь. Количество таких потерь, предусмотренных или случайных, постоянно растет, и загрязнение планеты как сырой нефтью, так и продуктами ее переработки сейчас является предметом серьезного беспокойства. Так как в настоящее время нефтепродукты являются одним из важнейших энергоносителей и эта тенденция продлится как минимум на ближайшие 20 лет, то проблема уменьшения попадания нефти в почву остается весьма актуальной. Основные особенности негативного воздействия на окружающую среду большинства нефтяных объектов хорошо известны. Это:

- 1) неравномерность загрязнения территорий самих объектов;
- 2) загрязнение грунтов, зоны аэрации и первого от земной поверхности водоносного горизонта подземных вод (грунтового);
- 3) локальные скопления нефтепродуктов в разных химических формах.
- 4) локальные прорывы магистральных нефтепроводов.

Такие особенности обусловлены характером различных (по объемам, интенсивности, срокам возникновения и продолжительности) хронических и аварийных утечек и разливов нефтепродуктов. Первостепенное значение в распределении загрязнения имеют все же аварийные ситуации на магистральных трубопроводах, поскольку в последних случаях происходят большие потери нефтепродуктов, значительная часть которых проникает в почву [1].

На территории Южного Предуралья (в границах республики Башкортостан) нефтедобывающая про-

мышленность расположена преимущественно в западных, юго-западных и северо-западных областях. Через эту территорию также в большом количестве проложены магистральные нефтетрубопроводы транзитом на Запад и нефтеперерабатывающие заводы города Уфы. Начиная с 1932 г., когда была добыта первая промышленная нефть в республике Башкортостан, было пробурено свыше 55 тысяч скважин и добыто примерно 1,5 млрд.т нефти [2, стр.114]. Однако, при добыче теряется до 3,5% горючих полезных ископаемых. В случае аварийных выбросов на почву попадает от 45 до 16300 м<sup>3</sup> рассола – 5 т нефти, при этом в год загрязняя порядка 72000 м<sup>2</sup> наземной поверхности [2, стр.222].

Площадь земель, подверженных загрязнению нефтепродуктами и НСВ (нефтепромысловыми сточными водами), в республике составляет несколько тысяч гектар [2, стр.318]. Техногенному воздействию наиболее подвержены почвы на Арланском, Николо-Березовском и некоторых других месторождениях. В результате аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, а также буровых и нефтепромысловых сточных вод в почве происходят различные геохимические изменения:

- 1) преобразования химического состава и химических свойств почвенного покрова;
- 2) преобразования физико-химических свойств (осолонцевание и засоление, появление гидрофобности и др.);
- 3) преобразования физических свойств почв, которые приводят к изменениям водного и воздушного режимов:
- 4) преобразования в биологической активности, составе и численности почвенного биоценоза;
- 5) морфологические изменения в почвенном профиле и генетических горизонтах.

Все эти многообразные негативные процессы ведут к деградации почвенного покрова, ухудшению плодородия, нарушению ландшафтов и экологии почв. А ингредиенты, такие как тяжелые металлы, соли, углеводороды, разнообразные компоненты буровых растворов, при попадании в растения снижают качество сельскохозяйственной продукции.

Согласно информации, представленной в научной статье [3], до недавнего времени считалось, что наибольшую опасность для природной среды представляют углеводороды, которые содержатся в составе нефтяных отходов. Однако, в последние деся-

тилетия было выявлено, что загрязнение почв различными токсикантами, в частности тяжелыми металлами и радиоактивными элементами, является одной из ключевых причин техногенной нагрузки на почвенный покров (при добыче нефти и природного газа радиоактивное поступление радона, радия и продуктов их распада превышает эмиссию радона в ядерной энергетике и при сжигании угля).

При добыче, переработке и транспортировке нефти, а также сжигании газообразного и жидкого топлива суммарный объем эмиссии токсичных тяжелых металлов в природную среду никогда не определялся. Если принять во внимание, что только на нефтяных месторождениях Башкортостана было добыто свыше 3,5 млрд. тонн нефти и порядка 100 млрд. кубометров пластовых вод, то можно сделать вывод о том, что десятки тысяч тонн тяжелых металлов и токсичных радиоактивных элементов попали в природную среду [3].

Попутные рассолы — соленасыщенные (с концентрацией солей свыше 50 г/л) подземные водные растворы, извлекаемые из недр попутно при разработке нефтяных и других месторождений — являются еще одной причиной загрязнения природной среды, в том числе и почв. В составе сточных вод нефтяных месторождений содержится большое количество минералов. В качестве маркера загрязнения почв и гидросферы Ахметовым Р.М., Хусаиновым Ш.М., Лешан И.Ю. были выбраны ионы хлора.

На территории Арланского и Николо-Березовского месторождений с целью контроля уровня загрязнения водного бассейна было оборудовано более 30 скважин, осуществляющих проверку работы крупных узлов и подготовки продукции, а также оценивающих площадь развития аллювиальных отложений. Данные показали, что в зимний период содержание хлоридов колеблется в пределах 412-739 мг/л, а на период весенней межени концентрация хлорионов достигает значений 48-55 мг/л [3].

В Предуральском прогибе зона высокометаморфизованных хлоркальциевых рассолов достигает мощности в 5-7 км. На этой же территории концентрация  $CaCl_2$  составляет более 50%. Стоит отметить, что в рассолах хлоридного кальциевого состава, а также других рассолах природного происхождения, концентрация редких элементов и щелочных металлов крайне высока. Наибольшее содержание таких элементов в метаморфизованных рассолах достигает: Li -700 мг/дм $^3$ , Rb -100 мг/дм $^3$ , Cs -10 мг/дм $^3$  [3, стр.41].

Что касается нефтепродуктов, то ситуация остается сложной. Поскольку предельно допустимая концентрация нефтепродуктов определяется сочетанием большого количества факторов, таких как климатические условия, тип и состав грунтов, тип растительности, состав нефтепродуктов, а также тип землепользования, то во многих странах, в том числе и в

России, он не определен, ибо такие нормы следует устанавливать отдельно для каждого района, учитывая тип почв, основываясь на анализе данных о влиянии нефти на всевозможные компоненты экосистем и, к тому же, на здоровье людей.

Более того, в Российской Федерации нормативными документами не установлен допускаемый уровень концентрации нефти и нефтепродуктов в почве. Как было упомянуто выше, принять одинаковый уровень предельной концентрации в России не представляется возможным в связи со сложным составом нефтепродуктов как биоразлагающихся загрязнителей и в силу многообразия климатических, ландшафтных, биогеохимических природных условий.

Взяв за основу разработанные в Нидерландах стандарты, институт ВСЕГИНГЭО (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии) разработал программу геоэкологического картографирования РФ, которая предлагает следующие нормативы по содержанию нефтепродуктов в почвах [4]:

- 1) допустимый уровень ≤50 мг/кг;
- 2) умеренно опасный уровень 50-100;
- 3) опасный уровень 100-1000;
- 4) чрезвычайно опасный ≥1000-5000.

По оценке Локкарда, токсический эффект в почвах отмечается при содержании нефтепродуктов выше 2%. При проведении изучения самоочистительного потенциала грунтов выяснилось, что при нахождении в них 500 мг/кг нефтепродуктов и выше самоочищение почв угнетается. На территории Арланского месторождения и в зоне его влияния содержание нефти в грунтах высоко: около д. Юсупово обнаружено содержание нефтепродуктов в пределах 3534 мг/кг, а на дне озера Грязное –3243 мг/кг [3].

В заключении хотелось бы отметить, что загрязнение почв нефтепродуктами и нефтепромысловыми сточными водами грозит техногенным преобразованием грунтов. Необходимо предпринять срочные меры по мониторингу природных сред вблизи территорий нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий и их сохранению.

#### Литература

- 1. Германова С.Е., Елисеев В.М., Тахир Мусса М., Тагасов В.И. «Проблемы экологической и производственной безопасности». // «Маркшейдерский вестник», № 3, 2011г. стр. 51-53.
- 2. Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.
- 3. Ахметов Р.М., Хусаинов Ш.М., Лешан И.Ю. Техногенная деградация почв нефтедобывающих районов Южного Предуралья //Известия Самарского центра Российской академии наук. Т. 13, №5 (2), 2011. С. 39 42.
- 4. Составление эколого-геологических карт масштаба 1:1000000 – 1:500000: методические рекомендации. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. – 61 с.

Светлана Евгеньевна Германова, старший преподаватель, тел.8-916-665-08-98, E-mail: se.germanova@mail.ru; Варвара Сергеевна Полянская, студентка; Ильвира Ильдаровна Хайдарова, студентка (Российский Университет Дружбы народов, Аграрно-технологический институт г.Москва)

# О XVI МЕЖДУНАРОДНОМ КОНГРЕССЕ ISM, ПРОХОДИВШЕМ С 12 ПО 16 СЕНТЯБРЯ 2016 года в г.БРИСБЕН (АВСТРАЛИЯ)

На заседании XVI Всемирного конгресса ISM, который был организован 12-16 сентября в Брисбене (Австралия), произошло весьма важное для всего российского маркшейдерского сообщества событие - заведующий кафедрой маркшейдерского дела и геодезии ИРНИТУ профессор Анатолий Охотин был избран президентом Международного сообщества маркшейдеров (International Society for Mine Surveying - ISM). Анатолий Леонтьевич рассказал в интервью нашему журналу об особенностях конгресса, а так же о том, какие задачи он ставит перед собой, как лидер ISM.

- Анатолий Леонтьевич, прежде всего, примите наши искренние поздравления!
  - Спасибо большое!
- Представитель современной России впервые возглавил международную команду маркшейдеров, широко известных среди ведущих горнодобывающих компаний, а также в научнообразовательной сфере. Сколько участников проявили интерес к конгрессу? Как проходила торжественная церемония?
- Всемирный конгресс ISM организуется регулярно раз в три года. Участниками мероприятия в Брисбене стали 360 ведущих маркшейдеров из 53 стран. Данный конгресс очень значим для России, поскольку право возглавить ISM было передано нашей

стране. Когда россияне, во время 15 Конгресса в Аахене (Германия), определялись, кому из россиян отдать руководство Международным сообществом маркшейдеров, то все единодушно решили, что это будут иркутяне, как самые активные и передовые.

Для торжественной церемонии представления нового президента ISM и вручения соответствующих регалий было выбрано особое место - мэрия (ситихолл) Брисбена. Отмечу, что это старинное здание, которое украшает башня с часами, является одной из главных достопримечательностей столицы штата Квинсленд. Со сцены мэрии к жителям города обращались принц Чарльз с принцессой Дианой и другие европейские монархи, здесь также выступали с концертами такие легендарные группы, как «Битлз» и «Роллинг Стоунз».

Процедура инаугурации заключалась в том, что уходящий президент доктор Эндрю Ярош передал мне символы власти — флаг ISM, большую красную печать и агатовую цепь с флагами стран-участниц Международного сообщества маркшейдеров. Кроме того, был вручен звонок, с помощью которого президент собирает участников президиума и других членов ISM на заседания. Будем надеяться, что звон этого колокольчика будет услышан во всех странах земного шара.





Торжественный момент передачи символа власти от теперь уже бывшего Президента ISM Эндрю Яроша вновь избранному Президенту ISM А.Л.Охотину. Флаг ISM в надежных руках!

- В инаугурационной речи Вы произнесли приветствие на нескольких языках...
- Тем самым я выказал уважение к участникам Конгресса на понятном для каждого языке: английском, немецком, китайском, монгольском, чешском, узбекском и русском. Ответная реакция зала была очень доброжелательной!
- Какие обязанности на посту президента Вам предстоит выполнять?



Избранный Президент ISM А.Л.Охотин произносит инаугурационную речь

Президент заботиться должен развитии ISM. обязан-Главная ность состоит в том, чтобы подготовить и провести следующий конгресс, который пройдет в 2019 году в Иркутске, а его центром будет Иркутский национальный исследовательский технический университет. Нам предстоит большая работа. Планируем, что в Иркутск приедут около 600 российских и зарубежных специалистов.

Также в тече-

ние предстоящих трех лет в задачи президента входит активизация всех участников ISM. Они должны заниматься нашими общими проблемами, привлекать в наше сообщество другие страны с развитой горной промышленностью. Отмечу, что в течение последних лет международная команда маркшейдеров была представлена 42 странами, и новых членов в ISM уже давно не принимали. На прошедшем конгрессе по инициативе россиян в состав ISM был включен Узбекистан, где горнодобывающая промышленность бурно развивается. В этой стране, где добывается до 40 тонн золота в год и большие объемы других полезных ископаемых, маркшейдеры очень востребованы. Узбекистан нуждается в богатом российском опыте. Поэтому три года назад, будучи еще вице-президентом Международного сообщества маркшейдеров, я взял на себя ответственность вовлечь узбекских коллег, организовал ряд встреч с представителями горных предприятий этой страны, читал лекции в Ташкентском государственном техническом университете им. Беруни, общался с преподавателями, и нашел там крепкую поддержку.

По приглашению президиума ISM в Австралию приехал заведующий кафедрой маркшейдерского дела и геодезии Ташкентского государственного технического университета им. Беруни проф. Саййиджаббор Саййилкасимов. Кафедра маркшейдерского дела и геодезии ИРНИТУ помогла ему подготовить презентацию об Узбекистане на английском языке, которая получилась очень живой и убедительной. Голосование за его кандидатуру было единодушным. Теперь в составе ISM 43 страны. Кроме того, узбекские коллеги выступили с инициативой провести в 2018 году в Ташкенте заседание президиума ISM, которое ежегодно проходит в разных странах. Это решение также было одобрено единогласно.

В моих ближайших планах привлечь к нашему сообществу Белоруссию и Таджикистан. Я должен, прежде всего, не только сам работать, но и мотивировать остальных участников ISM активизироваться по данной тематике и планировать поездки в другие страны. Например, у нас остались неохваченными государства Южной Америки, но мы уверены, что и они в ближайшие годы присоединятся к ISM, чтобы сообща решать глобальные задачи развития маркшейдерии. Ну, а самое главное - это достойно позиционировать российскую маркшейдерскую школу на международном уровне и привлечь в нашу страну лучшие маркшейдерские приборы, оборудование и технологии. Все это в форме конференций, прямых контактов и семинаров. Все организационные возможности для этого теперь имеются.

- Ваш предшественник Эндрю Ярош считал очень важным привлечь талантливую молодежь к работе Международного сообщества маркшейдеров. Насколько известно, Вы намерены продолжить активно работать в этом направлении? Какие шаги уже сделаны?
- Действительно, за три года на посту президента ISM Эндрю Ярошу удалось создать особую творческую атмосферу. Он показал себя умелым организатором, активно использовал социальные сети, был очень деликатен со всеми членами нашей международной команды. Благодаря его инициативе наши ряды пополнились новыми участниками, на треть обновился президиум. Эндрю ставил цель «омолодить» ISM и успешно ее осуществил. На заседании президиума в Брисбене руководителем одной из шести комиссий ISM назначен представитель Чешской Республики, молодой и талантливый ученый. Два перспективных преподавателя кафедры маркшейдерского дела и геодезии ИРНИТУ Семен Гриднев и Евгений Беляев включены в состав постоянно действующих комиссий президиума (инструменты и геометрия недр). Эти способные, высококвалифицированные специалисты впервые вышли на мировой уровень. На конгрессе в Австралии они результативно общались с коллегами, установили деловые связи с австралийскими партнерами.

Недавняя выпускница нашей кафедры, сотрудница научно-исследовательской части университета Алина Кшановская стала руководителем администрации президента ISM. Она свободно владеет английским языком, поэтому будет поддерживать сайт ISM, вести деловую переписку. Кроме того, Алина активно работает «в поле», в течение года она доросла до уровня руководителя проектов и доказала, что может организовать работу всей бригады маркшейде-

ров, разумно распределить все роли и отвечать за конечный результат.

- Должность президента ISM, кроме обязанностей, является мощным инструментом по продвижению передовых идей в маркшейдерском сообществе и консолидации мировой профессиональной элиты. Как Вы намерены распорядиться этим ресурсом?
- Международное сообщество маркшейдеров является негосударственной организацией ЮНЕСКО. Для нас открываются двери для активизации маркшейдерской жизни. Необходимо пропагандировать идеи, знания, умения и технологии российских маркшейдеров на международном уровне. Есть возможность посещать различные страны, чтобы оставаться на пике передовых технологий, оперативно подхватывать их и эффективно использовать. В настоящее время наступает эпоха цифровых моделей полного жизненного цикла объектов. А это шанс для нашей профессии подняться на новый уровень.



«Горные штурманы» всего мира на заседании президиума XVI Всемирного конгресса ISM

- Анатолий Леонтьевич, расскажите о составе российской делегации на XVI Всемирном конгрессе ISM? Как принимали россиян? Насколько известно, участники конгресса отметили, что стенд России на выставке был особенно привлекателен.
- Из России на конгресс в Брисбене приехали 14 человек, из них 10 это сотрудники иркутского «политеха» и партнеры вуза из Республики Саха (Якутия) и Пятигорска. Интерес к конгрессу также проявили главный маркшейдер «СУЭК» Марина Лаптева, которая известна своей тягой и поддержкой беспилотной авиации, преподаватели с кафедры Пермского технического университета. Союз маркшейдеров России в этот раз не смог принять участие в формировании и сопровождении российской делегации.

Поскольку мы принимаем участие во всех значимых мероприятиях международного уровня, то россиян встретили очень тепло, дружественно. Я представил доклад о кооперации ВУЗов и горнодобывающих предприятий на примере кафедры маркшейдерского дела и геодезии ИРНИТУ. Это было как разглавной темой конгресса. Опыт нашего университета

признан самым эффективным, как показала реакция зала. Мы готовим специалистов, которые в ходе учебы уже участвуют в производственных проектах и поэтому полностью адаптированы к горному делу. Спрос на наших маркшейдеров в три раза превышает количество выпускаемых специалистов. Ежегодно кафедра выпускает около 40 человек, и у них нет проблем с трудоустройством.

Поскольку очередной конгресс ISM состоится в Иркутске в 2019 году, то мы организовали стендпрезентацию в Брисбене. Алина Кштановская была модератором на выставке, принимала гостей в национальном русском костюме, дарила сувениры, презентационный материал, общалась на профессиональные темы. Поэтому россияне были очень заметны! Надеемся, что через три года количество участников на нашем конгрессе в Иркутске будет еще больше, чем в Брисбене.



Россия приветствует участников конгресса

- И мы тоже! Давайте подробнее поговорим о насыщенной программе конгресса, включающей несколько мероприятий. Самым заметным из них стала научно-техническая конференция. Какие темы докладов были превалирующими?
- Конференция проходила в форме пленарных заседаний, секций и стендовых докладов. Наибольшее количество докладов представили китайские участники. Наиболее распространенные темы докладов это охрана окружающей среды и беспилотные технологии в маркшейдерии. Всего было заслушано более 60 докладов.
- Одним из самых важных событий конгресса стало заседание Президиума ISM. Какие вопросы стояли на повестке дня?
- Президиум ISM это постоянно действующий рабочий орган, в состав которого входят представители каждой из стран-участниц. Заседания президиума организуются ежегодно в разных странах. В Австралии повестка дня была сформирована из нескольких важных вопросов. Действующий президент Эндрю Ярош подвел итоги работы ISM за три последних года. Маркшейдеры делились опытом применения но-

вых технологий, решали кадровые вопросы и наметили план работы на следующий год.

В Брисбене произошла «смена поколений» в монгольской делегации. Иркутские маркшейдеры предложили в состав президиума кандидатуру выпускника ИРНИТУ из Монголии Гэлэн Ёндона. Таким образом, наши позиции в ISM усилились.

На президиуме обсуждалось место проведения очередного конгресса после Иркутска. Претендентов было много, однако наиболее убедительно свою позицию высказали китайские коллеги. Лидер китайского Союза маркшейдеров Хуан Ле Тин рассказал о развитии горнодобывающей промышлености в стране. Он сообщил о том, что маркшейдеры очень востребованы на предприятиях, они активны не только в производстве, но и в научной жизни. Хуан Ле Тин продемонстрировал поддержку очередного Конгресса правительственными органами и крупными предприятиями Китая.

- На одном из мероприятий конгресса Вы выступили с презентаций кафедры маркшейдерского дела и геодезии ИРНИТУ, готовящейся, кстати, отметить 65-летний юбилей (с этим событием мы Вас хотели бы отдельно поздравить!). Какие достижения кафедры считаете самыми интересными мировому сообществу маркшейдеров?
- Да, в 2016 г. у нашей кафедры большой юбилей! И нам есть, чем гордиться! После презентации мне задавали много вопросов относительно того, каким образом кафедре удалось эффективно выстроить взаимоотношения с производственными предприятиями. Ответ простой: наши выпускники положительно настроены на родной вуз. Тем более, что мы поставили себе задачу предоставлять высококачественные услуги компаниям. Кафедра ИРНИТУ оснащена современными приборами, у нас работают высококвалифицированные специалисты. Хорошие отношения со стороны выпускников, многие из которых являются руководителями предприятий, позволяет кафедре устанавливать тесные контакты, зарабатывать деньги и обновлять учебные аудитории, покупать новое оборудование, которое задействовано как в учебном процессе, так и на производстве. Наше конкурентное преимущество признано на уровне горнодобывающих предприятий, а также в научной вузовской среде.

Технологии в настоящее время развиваются стремительными темпами. Если раньше в маркшей-дерском деле ценились навыки работы с инструментами, то сегодня эти инструменты достигли такого уровня, что мы переходим к кнопочным решениям.

Поэтому сегодня нужно уметь грамотно обрабатывать информацию. Мы вступаем в активную форму развития информационных технологий (ТИМ) полного жизненного цикла. Наша специальность и в этом случае будет востребована, поскольку маркшейдеры умеют добывать информацию о полезных ископаемых, о форме их залегания. Это делает маркшейдерию незаменимой, она приобретает новое качество в современных условиях.



Выступление А.Л.Охотина с презентацией кафедры маркшейдерского дела и геодезии ИРНИТУ

- Официальное место нахождения ISM определяется местом деятельности его президента. Согласно уставу ISM ответственный пост, доверенный Вам коллегами, дает право и обязывает через три года организовать очередной Международный конгресс в России. Вы уже подумали о концепции его проведения?
- Мы для этого уже многое сделали. Озеро Байкал будет центром притяжения нашего мероприятия. Одно из заседаний конгресса проведем на побережье Байкала. Мы намерены позиционировать нашу отечественную маркшейдерию. Верим в самое активное участие россиян. Традиционно к этому мероприятию все страны организуют свои общенациональные форумы. Мы давно их уже не проводили. Надеемся, что горнодобывающие предприятия поддержат конгресс. У них представится возможность показать себя на международном уровне, привлечь инвесторов, сотрудников и технологии.
- Еще раз поздравляем Вас с избранием президентом Маркшейдерского международного сообщества и желаем удачи в реализации всего задуманного!

\*\*\*

Маркшейдерское международное сообщество (ISM) было создано в Австрии. В настоящее время его участниками являются 43 страны. Каждая из шести комиссий ISM занимается определенными вопросами (маркшейдерские работы, инструменты, законодательство, образование, история, WEB-технологии). Всемирный маркшейдерский конгресс и связанная с ним выставка проводятся раз в три года. Австралия принимала крупнейшую в мире встречу маркшейдеров уже во второй раз (предыдущий конгресс в 1997 году был организован во Фримантле).

#### **ОБЗОР**

#### Всероссийской научно-практической конференции «РАЦИОНАЛЬНОЕ И БЕЗОПАСНОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ»

Некоммерческим партнерством «Содействие развитию горной промышленности «Горное дело» при содействии Общероссийской общественной организацией «Союз маркшейдеров России» 26 сентября — 01 октября 2016 года в г. Ялте была проведена Всероссийская научно-практическая конференция «Рациональное и безопасное недропользование».



В работе конференции участвовали более 100 человек, включая руководителей и ведущих специалистов маркшейдерских и геологических служб горнои нефтегазодобывающих организаций: АО «СУЭК», 3Ф ПАО «ГМК «Норильский никель», ООО «Газпром нефть шельф», ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», ООО «Башнефть-Добыча», АО «Лебединский ГОК», АО «Самотлорнефтегаз», ООО «Газпром добыча Ямбург», ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», АО «СУЭК-Кузбасс», ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз», ООО «Газпром ПХГ», ПАО «Михайловский ГОК», АО «РИТЭК», АНО «Аудит недропользования и консалтинг», АО «Архангельскгеологодобыча», АО «Ачимгаз», АО «Дукатская горногеологическая компания». АО «Порт Самара». АО «Приморскуголь», АО «Разрез Березовский», АО «Разрез Назаровский», АО «Разрез Харанорский», «СУЭК-Красноярск», АО «Ургалуголь», ОАО «Ямал СПГ», ООО «АВИСТО», ООО «Аутодеск (Си-Ай-Эс)», ООО «Восточно-Бейский разрез», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «Газпром геологоразведка», ООО «Газпром добыча Астрахань», ООО «Газпромнефть-Ямал», ООО «Горный аудит», ООО «ИТ-Сервис», ООО «НОВАТЭК-Юрхаровнефтегаз», ООО «Рациональное недропользование», ООО «РН – Краснодарнефтегаз», ООО «РН-Ванкор», ООО «РН-Северная нефть», ООО «РН-Уватнефтегаз», ООО «СУЭК-Хакасия», ООО «Теодолит», ООО «Тюменский региональный геодезический центр», ООО «Читауголь», ПАО «Варьеганнефтегаз» и др., а также специалисты федеральных органов исполнительной власти: Ростехнадзор, Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, Минприроды России; слушатели курсов повышения квалификации и представители научных, общественных, экспертных организаций, таких как Российское геологическое общество, ООО «Компания Совзонд», ООО «НавГео-Ком».



В ходе заседаний были заслушаны доклады на такие актуальные темы, как: «О нормативном обеспечении недропользования», «Из истории маркшейдерского дела (типовое положение о ведомственной маркшейдерской службе)», «Правовые основы изменения порядка составления планов развития горных работ и горных отводов», «Состояние и перспективы



развития угольной отрасли», «О направлениях использования схем развития горных работ для технического регулирования горного производства», «О развитии базы геопространственных данных в ООО «Газпром добыча Астрахань»», «Космический радарный мониторинг смещений и деформаций земной поверхности и сооружений на месторождениях полезных ископаемых», «Технологии Leica Geosystems для



производства маркшейдерских работ в нефтегазовой отрасли. Импортозамещение», «Автоматический деформационный мониторинг МЛСП комплексный подход (от проекта до готового решения)», «О качестве исходной документации и материалов для составле-

ния проектов горных отводов», «О внедрении новых технологий производства маркшейдерских работ при эксплуатации ПХГ» и др.

В рамках конференции были проведены круглые столы на темы: «О новых требованиях и правоприменительной практике при согласовании планов развития горных работ», «О новых требованиях при оформлении горноотводной документации», «О новых требованиях в области безопасности ведения горных работ».

На конференции были вручены памятные знаки, почетные грамоты и благодарности за большой вклад в маркшейдерское дело, обеспечение безопасного, рационального недропользования и охраны недр от Союза маркшейдеров России и НП «СРГП «Горное дело».

В рамках конференции была проведена техническая экскурсия, работа в рамках секций. По результатам работы участниками конференции было принято решение.

#### Решение

Всероссийская научно-практическая конференция «Рациональное и безопасное недропользование»

01.10.2016

- 1. Одобрить проводимую Некоммерческим партнерством «Содействие развитию горной промышленности «Горное дело» и Общероссийской общественной организацией «Союз маркшейдеров России» работу по обеспечению промышленной безопасности и геолого-маркшейдерскому обеспечению работ при недропользовании.
- 2. Рекомендовать руководителям геологических, маркшейдерских и иных инженерных служб горно- и нефтегазодобывающих организаций обеспечить:
- реализацию утвержденных Ростехнадзором Положения о порядке подготовки, рассмотрения и согласования планов и схем развития горных работ по видам полезных ископаемых и Положения о порядке подготовки и оформления документов, удостоверяющих уточненные границы горного отвода, и порядку ведения реестра горноотводной документации;
- использование новых требований по составлению планов и схем развития горных работ, оформлению горноотводной документации для оперативного решения технических проблем горного производства;
- реализацию одобренной Ростехнадзором Концепции совершенствования нормативных требований по ведению наблюдений за состоянием горных отводов;
- внедрение дистанционных информационнообучающих комплексов;
- организационно-техническую поддержку деятельности кафедр геологии, маркшейдерского дела и промышленной безопасности, иных инженерных кафедр горных вузов, включая их оснащение новейшими приборами и оборудованием, технической литературой, организацию производственных практик студентов, привлечение к выполнению хоздоговорных работ;
- подписку предприятий-недропользователей на профессиональные издания «Маркшейдерский вестник», «Маркшейдерия и недропользование»,

г. Ялта

- «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.
- 3. Одобрить подготовленные при участии Союза маркшейдеров России и НП «СРГП «Горное дело» рекомендации от 21.04.2016 семинара-совещания «О законодательном регулировании добычи редких металлов и нормативов потерь при первичной переработке твердых полезных ископаемых» Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию в части включения в проект федерального закона «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах», включенного в План законопроектных работ Правительства Российской Федерации на 2016 год (сентябрь) следующих положений:
- а) распространение предоставленного права на разведку и добычу основного вида полезного ископаемого, указанного в лицензии на пользование участком недр, на разведку и добычу попутных компонентов;
- б) упрощенный порядок предоставления права разведки и добычи полезных ископаемых из техногенных образований, в том числе извлечения попутных компонентов;
- в) исключение из лицензий на право добычи понятия «согласованного уровня добычи полезных ископаемых» или его уточнение с учетом текущего и ожидаемого спроса, требований безопасности и рационального пользования недрами.
- 4. Поручить НП «СРГП «Горное дело» и Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России» довести настоящее решение до сведения министерств и ведомств природноресурсного блока, горно- и нефтегазодобывающих организаций.

Председатель Совета НП «СРГП «Горное дело»

В.В. Грицков

## ГОРНОЕ ДЕЛО ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

УДК 622(031) ББК 33.1



Горное дело: Терминологический словарь / Под научной редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство «Горная книга», 2016. — 635 с.

ISBN 978-5-98672-435-5 (в пер.)

Авторы-составители: А.В. Атрушкевич, Т.Н. Бочкарева, В.С. Забурдяев, В.Н. Захаров, М.А. Иофис, Н.Н. Казаков, Л.И. Кантович, Д.Р. Каплунов, А.В. Корчак, Г.Д. Краснов, С.С. Кубрин, В.В. Кудряшов, Н.Г. Матвиенко, Д.Н. Радченко, М.В. Рыльникова, К.Н. Трубецкой, В.Л. Шкуратник, В.А. Юков

**Редакционная коллегия:** К.Н. Трубецкой, Д.Р. Каплунов (главные редакторы), В.Ж. Аренс, А.М. Гальперин, В.П. Зубов, В.Н. Калмыков, Б.А. Картозия, В.И. Клишин, М.В. Курленя, Б.Н. Кутузов, А.А. Лавриненко, Г.Г. Ломоносов, В.Н. Опарин, Э.М. Соколов, В.Л. Яковлев

\*\*\*

Издательством «Горная книга» при поддержке ИПКОН РАН, НП «Технологическая платформа твердых полезных ископаемых», НТЦ - Геотехнология, АМС Consultants в Москве в 2016 году издан терми-

нологический словарь «Горное дело» – переработанное и дополненное пятое издание первого терминологического словаря «Горное дело» под научной редакцией академика Н.В. Мельникова (1965 г.).

Высокие объемы добычи и темпы развития горно-добывающей промышленности в XX веке обусловили потребность в расширении обмена производственным опытом и научно-технической информацией между инженерно-техническими работниками горных предприятий, сотрудниками планирующих, научных, проектных, конструкторских организаций и учебных заведений. Все это привело к необходимости создания и выпуска в свет в 1965 г. терминологического словаря «Горное дело», в котором впервые были систематизированы единые толкования различных терминов, используемых в горном деле.

В работе над Словарем принимала участие большая группа специалистов (более ста авторов), в основном Института горного дела им. А.А. Скочинского, под руководством академика Н.В. Мельникова. При составлении Словаря особое внимание авторский коллектив уделял включению терминологии, соответствующей современному состоянию горной науки и техники, и обобщению большого практического опыта, накопленного к тому времени.

В первом издании Словаря были освещены следующие разделы: геология и геологоразведочные работы (общие термины); маркшейдерское дело; разработка месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способами и разработка россыпей (например, вопросы горного давления, сдвижения горных пород и поверхности, буровзрывных работ, рудничного и карьерного транспорта, водопонижения, водоотлива, освещения, вентиляции, борьбы с пылью, подземных пожаров, подземной газификации, внезапных выбросов угля и газа, горно-спасательного дела, крепления горных выработок, механики и физики разрушения горных пород, гидромеханизации, закладочных работ и др.); механизация, автоматизация и электрификация в горном деле; обогащение; брикетирование; гидрометаллургия; экономика и организация производства; техническое нормирование и планирование; шахтное строительство и строительство карьеров. Принципиально эти же разделы традиционно сохранялись во всех последующих переизданиях.

Словарь стал справочным пособием по вопросам горного дела и помог широкому кругу работников промышленности, строительства, образования и науки правильно использовать термины в своей практической деятельности.

На протяжении последующих 25 лет Словарь дорабатывался и переиздавался еще три раза (1974, 1981

и 1990 гг.). Каждое новое издание пополнялось вновь возникающими терминами, соответствующими актуальным направлениям развития теории и практики горного дела.

Дальнейшее развитие горных наук, их выход на принципиально новые позиции в понимании предмета горного дела, его содержания, идеологии и методологии в целом привели к кардинальному изменению представления общества о целях и формах деятельности, направленной на освоение недр Земли. Восприятие горных наук как системы знаний о добыче полезных ископаемых эволюционировало в систему знаний о техногенном преобразовании недр Земли<sup>1</sup>. Осознание установившихся и осмысление наметившихся тенденций в горных науках и практике позволило по-новому оценить суть многих научных категорий (недра, георесурсы, геосистемы, геотехнологии, комплексное освоение недр и т.д.):

- во-первых, выявить их связь со смежными отраслями знаний, исследующих процессы биосферных изменений;
- во-вторых, проанализировать многосторонние последствия их практического применения не только в сугубо техническом, но и в экологическом и социально-экономическом аспектах.

Современная горная терминология характеризуется многозначностью большого числа терминов, наличием жаргонных терминов, немотивированностью их формы, противоречивостью и неоднозначностью определений, нечеткостью границ даваемых понятий. В значительной мере это связано с отсутствием в последние годы системных научных исследований в области горной терминологии, а также с длительным изолированным развитием крупных отраслей горного дела - угольной, рудной, нефтегазовой и др. Еще одним фактором, повлекшим за собой появление множества новых понятий, можно назвать интернационализацию терминологической лексики ведущих областей науки и техники, которая была обусловлена ускоряющимися в последние годы темпами научно-технического развития и лавинообразным ростом информации во всех сферах знаний производственной, образовательной и научной деятельности, в том числе и в горном деле.

Изменение условий ведения горных работ, переход к рынку, совершенствование законодательства и повышение требований к экологичности освоения участков недр также привели к необходимости систематизации и совершенствования горной терминологии с учетом сложившихся современных реалий. Логический результат этих исследований - подготовка настоящего переработанного и дополненного пятого издания Словаря, которое стало юбилейным - 50 лет со дня выхода в свет первого (1965 г.) и 25 лет со дня выхода четвертого издания (1990 г.).

Перед авторским коллективом стояли следующие задачи:

- учесть современное понимание горных наук, концепции комплексного освоения недр, состояние минерально-сырьевой базы и особенности развития горного производства;
- учесть необходимость междисциплинарного подхода к проектированию и оценке применения современных горных технологий
- усовершенствовать понятийный аппарат с позиции сохранения традиционных, исторически сложившихся и ныне используемых понятий;
- сохранить однозначность и предотвратить включение принципиально нового содержания в установившиеся и принятые горно-техническим сообществом термины, которые использовались на протяжении длительного периода времени в образовательном процессе.

В Словаре содержится 4600 терминов и понятий, принятых в горном деле. Авторы сочли целесообразным в некоторых случаях отступить от традиционного требования к терминологии - ее краткости, и при раскрытии отдельных терминов увеличить объем статей. Поэтому в одних случаях авторами дается краткое определение термина, в других - небольшая статья, в которой приводится сжатое описание технологического процесса, механизма, прибора или аппарата; указывается также назначение и область применения. Отдельные важные в горном деле статьи снабжены краткими справочными данными. Каждый термин сопровождается синонимами, в случае их существования, и списком возможных значений.

Следует отметить также, что в пятом издании терминологического словаря «Горное дело» обобщается и систематизируется накопленный опыт и создается основа для восприятия окружающего нас мира как единой геосистемы, а горно-добывающего предприятия — как единой горно-технической системы.

Многогранный характер подготовленного издания отражается в том, что, во-первых, это научная работа коллектива авторов под эгидой ИПКОН РАН, во-вторых, это практическое пособие, призванное за счет единства терминологии объединить разобщенные в силу своей отраслевой специфики горные предприятия, втретьих, этот труд - дар молодому поколению студентов, ученых и практиков, только начинающих свой путь в горном деле, и, главное, эта книга - памятник нескольким поколениям ученых, создававших Словарь и работавших над его четырьмя переизданиями.

Словарь рассчитан на лиц, связанных в своей деятельности с горной промышленностью, наукой и образованием.

По вопросам приобретения издания просьба обращаться в редакцию нашего журнала.

<sup>1</sup> См.: *Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Чаплыгин Н.Н.* Современные горные науки: предмет, содержание и новые задачи // Горный журнал. — 1994. — № 6. — С. 3-7.

### Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России» ЧУ «ЦДПО «Горное образование»

(Лицензия серии 77 Л01 №0008098, регистрационный № 037280)

#### Повышение квалификации по горным специальностям в 2016-2017 годах

Обучение проводится ЧУ «ЦДПО «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.

Слушатели зачисляются на основании заявки от предприятия и заключенного договора.

Дата обучения выбирается в соответствии с установленным графиком. При отсутствии графика, в заявке указывается желаемый период обучения.

Обучающимся бронируются места для проживания в гостиничных комплексах по факту поступления заявок и месту проведения обучения.

По окончанию курсов повышения квалификации выдаётся удостоверение.

#### График проведения курсов в 2016-2017 годах:

курсы повышения квалификации:

Kypen noodmenna KommpaKanan.						
Сроки проведения	Направление	Категория слушателей				
14.11.2016-23.11.2016 13.02.2017-22.02.2017 27.02.2017-03.03.2017* 03.04.2017-12.04.2017 22.05.2017-31.05.2017** 25.09.2017-04.10.2017*** 23.10.2017-01.11.2017**** 20.11.2017-29.11.2017	«Маркшейдерское дело»	специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций				
27.02.2017-03.03.2017* 22.05.2017-31.05.2017** 25.09.2017-04.10.2017*** 23.10.2017-01.11.2017****	«Рациональное использование и охрана недр»	специалисты служб лицензирования, недропользования, главного геолога				
27.02.2017-03.03.2017* 22.05.2017-31.05.2017** 25.09.2017-04.10.2017*** 23.10.2017-01.11.2017****	«Геология»	специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций				
27.02.2017-03.03.2017* 22.05.2017-31.05.2017** 25.09.2017-04.10.2017*** 23.10.2017-01.11.2017****	«Землеустройство и земельный кадастр»	специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций				
27.02.2017-03.03.2017* 22.05.2017-31.05.2017** 25.09.2017-04.10.2017*** 23.10.2017-01.11.2017****	«Промышленная безопасность опасных производственных объектов»	специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций				
27.02.2017-03.03.2017* 22.05.2017-31.05.2017** 25.09.2017-04.10.2017*** 23.10.2017-01.11.2017****	«Организация кадровой службы и управление персоналом при недропользовании»	специалисты кадровых служб горно- и нефтегазодобывающих организации				

- \* очная часть курсов повышения квалификации (27.02.2017-03.03.2017) проводится в г. Тюмени. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской научно-практической конференции «Промышленная безопасность и геолого-маркшейдерское обеспечение работ при добыче углеводородного сырья»
- \*\*- курсы повышения квалификации проводятся в г. Кисловодск. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской научнопрактической конференции «Промышленная безопасность при недропользовании и охрана недр»
- \*\*\* курсы повышения квалификации проводятся в г. Сочи. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской конференции «Рациональное и безопасное недропользование»
- \*\*\*\* курсы повышения квалификации проводится в г. Москве. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской конференции «Новые технологии при недропользовании»

Получить более подробную информацию об обучении, а также о дополнительных мероприятиях можно на caŭme www.mwork.su, по e-mail: obr@mwork.su: gorobr@inbox.ru
или по тел. (495) 641-00-45, (499) 263-15-55

#### НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХАНИКИ И ПРОБЛЕМ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НАЦИОНАЛЬНОГО МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО УНИВЕРСИТЕТА

Лаборатория маркшейдерских работ







Лаборатория владеет технологиями и располагает необходимыми программными средствами и современной маркшейдерско-геодезической приборной базой для проведения научно-исследовательских работ. Коллектив опытных специалистов готов выполнить для Вашего предприятия:

- теоретические и экспериментальные исследования, обобщение передового опыта маркшейдерских работ при открытом и подземном способах разработки месторождений полезных ископаемых;
- разработать нормативные и методические документы;
- исследовать процессы, происходящие на земной поверхности, с применением радиолокационной космической съемки;
- разработать и усовершенствовать методы маркшейдерского обеспечения строительства и реконструкции шахт и рудников;
- усовершенствовать маркшейдерское обеспечение производства горных работ в условиях оптимизации структуры управления горнодобывающими предприятиями;
- разработать Технологический регламент на производство маркшейдерских работ, Положение о маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охране недр. Инструкцию (методические указания) по определению, учету и нормированию потерь полезного ископаемого, Проект ликвидации или консервации горных выработок отработанной части горного отвода предприятия;
- усовершенствовать методики маркшейдерского обеспечения горных работ по развитию опорного и съемочного обоснования с применением современных технических средств, съемки горных выработок, в том числе с использованием бесконтактых дистанционных методов, монтажа и контроля геометрических параметров и ремонта крупного горнотранспортного

оборудования, определения объемов горных работ в процессе разработки месторождений и др.;

- разработать методику расчета численности штатов маркшейдерских служб с учетом новых технологий:
- создать информационные продукты с использованием радарных космических снимков;
- разработать допустимые отклонения геометрических параметров проводников жесткой армировки эксплуатируемых вертикальных шахтных стволов;
- разработать методику анализа профильных съемок жестких проводников вертикальных шахтных стволов с расчетом параметров рихтовочных работ;
- разработать аппаратуру дистанционного определения положения стволопроходческого комплекса;
- организовать изготовление проекциометров для предприятий и обучить персонал измерениям проекциометрами;
- выявить и оконтурить участки изменений рельефа по космическим снимкам, произошедших за период между двумя съемками;
- создать ортофотопланы и карты с детализацией до 1 м.

Приведенный перечень не охватывает всего многообразия выполняемых работ. Для получения дополнительной информации просим связаться с нами удобным для Вас способом.

Мы стремимся достигать максимального результата с наименьшими издержками (финансовыми, человеческими, временными и т.д.), в том числе за счет внедрения современных достижений науки и технологий.

Наши заказчики за последние 5 лет: AO «Апатит», ОАО «ГМК «Норильский никель», ОАО «Лафарж Цемент», ОАО «СУЭК Красноярск», ООО «СК РУСВЬЕТПЕТРО», ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск», ОАО «Регионснабсбыт» и др.

Контактная информация:

199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, Средний пр. д. 82 www.spmi.ru, http://vk.com/laboratory\_md Проректор (директор): Шабаров Аркадий Николаевич, Телефон: (812)321-96-09, факс: (812)321-96-09, e-mail: post@spmi.ru Заведующий лабораторией: Жуков Григорий Петрович, телефон: 8(812)321-30-30, e-mail: zhukov gp@spmi.ru