

НАУКОВИЙ
ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО
ГІРНИЧОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

*ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ
ШАХТНЕ ТА ПІДЗЕМНЕ БУДІВНИЦТВО
РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН
ГЕОЛОГІЯ
ЕНЕРГЕТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ
ЕКОЛОГІЯ
ЕКОНОМІКА*

6²⁰⁰⁹

ДНІПРОПЕТРОВСЬК

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Засновник та видавець

НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕДАКЦІЯ:

Головний редактор –

Г.Г. Півняк

Заступники головного редактора –

О.С. Бешта, П.І. Пілов, О.М. Шашенко

Відповідальний секретар –

Л.С. Шломіна

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

А.Д. Алексеєв, І.В. Багрова, С.Є. Блохін,
В.І. Бондаренко, А.Ф. Булат, Б.С. Бусигін,
Б.В. Виноградов, О.С. Галушко, В.І. Голінько,
А.І. Горова, С.С. Гребьонкін, Б.А. Грядущий,
І.Л. Гуменик, Р.П. Дідик, М.О. Доброгорський,
А.О. Задоя, Є.П. Захаров, М.О. Ільяшов,
Г.О. Козлакова, Є.В. Кочура, Г.В. Кузнецов,
О.М. Кузьменко, В.В. Лукінов, Л.В. Новикова,
Ю.Є. Петруня, В.Ф. Приходченко, В.В. Приходько,
В.Ю. Пушкін, В.В. Радченко, Т.Б. Решетілова,
А.М. Роєнко, І.О. Садовенко, В.І. Саллі, В.О. Салов,
В.І. Самуся, В.В. Слесарєв, М.С. Сургай,
В.В. Ткачов, О.М. Туркенич, К.Ф. Тяпкін,
В.П. Франчук, Ю.М. Халимендик, Ю.Т. Хоменко,
Л.Н. Ширін, Ф.П. Шкрабець

ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

І.В. Дементьєв (Росія), Л. Вільке (Німеччина),
А. Земба (Польща), Н. Іліас (Румунія),
М.І. Кучерський (Узбекистан), Н. Мартенс (Німеччина),
Гюнхан Пашамехметоглу (Туреччина),
Л.А. Пучков (Росія), Я. Семек (Польща),
В. Страхош (Чехія), М. Шмідт (Німеччина)

Верстка та редагування: С.П. Іванов

Журнал підписано до друку за рекомендацією вченої ради Національного гірничого університету
(протокол № 5 від 30.06.2009 року)

Поштова адреса редакції:

49000, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, корпус 4, к. 49

Тел.: 8 (056) 3730702

e-mail: HomenkoO@nmu.org.ua

Журнал зареєстровано у Державному комітеті інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Реєстраційний номер КВ № 6875 від 20.01.03.

Підписано до друку 30.06.09. Формат 30×42/2.

Ум. друк. арк. 10. Папір Ballet Universal.

Наклад 400 прим. Зам. № 192.

Віддруковано у Національному гірничому університеті.

49000, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ В КОНТЕКСТЕ КРЕДИТНО-МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ

Обґрунтована необхідність використання для самостійної аудиторної роботи студентів як традиційних, так і новітніх комп'ютерних технологій у рамках кредитно-модульної системи навчання. Дані заходи сприятимуть інтенсивному й більш глибокому вивченню екології.

Обоснована необходимость использования для самостоятельной аудиторной работы студентов как традиционных, так и новейших компьютерных технологий в рамках кредитно-модульной системы обучения. Данные методы будут способствовать интенсивному и более глубокому изучению экологии.

The article deals with the necessity of the use of both traditional techniques and the ones based on modern computer technologies for students' independent classroom work within the framework of introduction of credit-module system of education. The given means lead to more intensive and detail study.

Введение. Вхождение Украины в мировое сообщество требует структурного реформирования системы преподавания в высшей школе. Приоритетной задачей, в соответствии с положениями Болонской декларации является существенное повышение качества образования, которое обеспечило бы выпускникам конкурентоспособность на мировых рынках труда, а также формирование навыков самостоятельной работы и принятия решений, необходимых как в процессе обучения, так и в профессиональной деятельности [1-3].

Научить студента учиться и в дальнейшем постоянно совершенствоваться в своей будущей профессии – одна из главных задач высшей школы.

Самостоятельная работа студента во время обучения в высшем учебном заведении имеет следующие цели:

– самостоятельное овладение определенной «суммой» знаний, умений, навыков по дисциплине в соответствии с требованиями учебных планов и программ;

– формирование самостоятельности как черты личности будущего специалиста.

Кредитно-модульная методика обучения и контроля знаний предусматривает большее количество учебного времени для самостоятельной работы студентов дома и во время аудиторных занятий. Ее преимуществами является создание условий для формирования творческого самостоятельного мышления и творческого подхода в принятии решений студентами [4]. Основной акцент в учебно-методическом обеспечении образовательной программы принадлежит формированию у будущих экологов, землеустроителей, юристов, инженеров-специалистов горнодобывающей промышленности мотивов к профессиональному самообразованию и совершенствованию себя как специалиста, что и является личностными ценностями. Ориентировочный характер учебных технологий и методик будет способствовать улучшению качества подготовки специалистов.

Целью данной работы является поиск новых и совершенствование традиционных методик самостоятельной работы студентов на кафедре экологии, как элемента составной системы кредитно-модульного обучения.

Основная часть. Не отрицая значения классических методик преподавания, по которым обучалось не одно поколение инженеров горного производства, экологов, юристов, специалистов-землеустроителей, необходимо осознать актуальность использования новых технологий, построенных на закономерностях логического осмысливания. При этом под логическим осмысливанием подразумевается способность охватить, проанализировать и кумулировать все данные, касающиеся изучаемой проблемы, при одновременном сравнении с личными наблюдениями (личный опыт, приобретенный во время прохождения учебной, а затем производственной практик), книжными знаниями (работа с литературными первоисточниками) и опытом преподавателей на лекциях, лабораторных, практических, семинарских занятиях [5].

В современных схемах понимания и усвоения знаний предусмотрена органическая связь слова со зрительным рядом: образом, формой, цветом. Одним из важнейших ресурсов в изучении дисциплин, связанных с профессией эколога, является развитие качественных, интуитивных, образных представлений путем использования «компьютерных технологий» в решении проблемных обучающих ситуаций (решение ситуационных задач).

На кафедре экологии Национального горного университета эта сложная задача достигается не только путем повышения уровня теоретических знаний, но и посредством максимального использования визуального компонента в обучении, предусматривающего осознание студентом важности собственного мнения, базирующегося на приобретенном в процессе обучения опыте: «я такое уже видел, я это встречал в быту, на производстве, я с этим уже не раз сталкивался, я уже пытался решить эту про-

блему или такую проблему в свое время решали мои родители, мои учителя, мои производственные руководители!» Эта методика реализуется при помощи нескольких обучающих технологий с демонстрацией фильмов, изучением атласов, разбором ситуационных задач.

Решение ситуационных задач – деловая игра, которая содержит два аспекта: учебный и контролирующий. Сценарий игры, как правило, предлагает преподаватель, который составляет ситуацию (или перечень данных для составления данной производственной ситуации). Все другие сведения (нормативы, ГОСТы, справочные данные, коэффициенты, цены, стоимость, статьи законов и др.) студент подбирает самостоятельно, согласно своему пониманию ситуации [6].

Полностью предвидеть развитие деловой игры невозможно. Главное – преподаватель на протяжении игры имеет возможность оценить не только ответы на вопросы, а действия каждого студента, имеющего собственное решение данной ситуационной задачи.

Объективные причины, свидетельствующие о невозможности концентрации всего спектра изучаемых дисциплин на кафедре экологии НГУ, необходимого для учебного процесса, предопределили необходимость составления и использования граф-логических структурных схем студентами по заданной теме с использованием логического мышления студентов на практических занятиях [7].

В этой связи на кафедре экологии НГУ создан и пополняется банк ситуационных задач и вариантов решений запрограммированных обучающих ситуаций. На практических занятиях, руководствуясь методическими рекомендациями к соответствующей теме, преподаватель на мониторе компьютера может демонстрировать материалы ситуационной задачи. Созданный банк ситуаций (на электронных носителях) позволяет демонстрировать не только схематические, но и картографические данные каждой задачи, реальные промышленные объекты, устройства, приборы, а также последовательно проследить видеоряд, который иллюстрирует результаты техногенного воздействия на окружающую среду, положительные и отрицательные примеры оценки воздействия на окружающую среду проектируемого объекта, устройства, механизма, технологий.

Выводы

Одновременное использование традиционных и инновационных методов (тесты, граф-логические

структурные схемы, видеодемонстрации промышленных и экологически значимых объектов) способствует интенсификации обучения и надежному долгосрочному запоминанию необходимой информации.

В соответствии с современными требованиями к качеству преподавания необходимо сопровождать программный материал иллюстрациями в компьютерной презентации или видео, предоставляя вместе с тем возможность студентам самостоятельно находить варианты (не один!) решения предлагаемых программных ситуационных задач.

Список литературы

1. Применение компьютерных и мультимедийных технологий для преподавания травматологии и ортопедии / Бабоша В.А., Начевкин В.А., Лобанов Г.В. и др. // Досвід та проблеми підготовки педагогічних кадрів: Зб. наук. праць. – Донецьк, 2005. – С. 74-76.
2. Волошковец О.П. Питання якості освіти у контексті впровадження засад Болонської декларації у вищій школі // Медична освіта. – 2005. – № 2. – С. 12-16.
3. Казаков В.Н., Талалаенко А.Н., Первак Н.Б. Деятелность ДОНГМУ им. Горького по подготовке к проведению реформ Болонской направленности в отечественной высшей медицинской школе // Досвід та проблеми підготовки педагогічних кадрів: Зб. наук. праць. – Донецьк, 2005. – С. 3-5.
4. Москаченко В.Ф., Яворівський О.П., Остапик Л.І. Про стан і шляхи удосконалення організації самостійної роботи студентів // Медична освіта. – 2004. – № 1. – С. 10-12.
5. Информационные технологии в медицинском вузе как средство оптимизации обучения // Талалаенко А.Н., Борисова Т.Н., Денисенко А.Ф. и др. // Досвід та проблеми підготовки педагогічних кадрів: Зб. наук. праць. – Донецьк, 2005. – С. 8-11.
6. Островський І.М., Прохоров Є.В. Рольова гра як засіб навчання та контролю знань субординаторів // Медична освіта. – 2004. – № 1. – С. 45-51.
7. Методичні вказівки до самостійної роботи по освоєнню дисципліни «Основи екології» (для студентів усіх спеціальностей) / Горова А.І., Скворцов В.О., Богданов В.К., Павличенко А.В. – Д., НГУ, 2003. – 37 с.

Рекомендовано до публікації д.б.н. А.І. Горвою 20.03.09

УДК 622.272:624.191.5

С.А. Харин

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ШАХТНЫХ СТВОЛАХ

Проведено аналіз продуктивності бурового обладнання в шахтних стволах в різних умовах.

Проведен анализ производительности бурового оборудования в шахтных стволах в различных условиях.

The analysis of the productivity of boring equipment is conducted in mine barrels under various conditions.

Ритмичное ведение работ по проходке шахтных стволов во многом определяется эффективностью бурения шпуров, доминирующее значение которого особенно выражено проявляется в крепких и весьма крепких породах, характерных для Криворожского бассейна. В этой связи представляется актуальным анализ производительности различных видов бурового оборудования в условиях изменения коэффициента крепости пород для стволов различного диаметра.

При выборе бурильного оборудования учитывают, как правило, следующие факторы: физико-механические свойства пересекаемых пород; техническое оснащение ствола проходческим оборудованием; технологическую схему строительства стволов, их диаметр, глубину; организацию работ буровзрывного комплекса.

При строительстве стволов шпуров бурят ручными бурильными машинами ударно-поворотного действия (бурильными молотками или перфораторами) и бурильными установками. Для бурения шпуров в стволах сверху-вниз используют тяжелые перфораторы. Большая масса (30-35 кг) перфораторов и высокая энергия удара способствуют повышению механической скорости бурения.

Для сокращения продолжительности бурения шпуров, а также для облегчения тяжелого труда и уменьшения числа проходчиков применяют бурильные установки, которые позволяют значительно повысить эффективность буровзрывных работ, увеличить скорость строительства стволов и производительность труда, полностью механизировать работы по бурению шпуров, заменить трудоемкий процесс ручной зачистки забоя ствола механизированным процессом перебуривания слоя полуразрушенной породы с помощью забурника и снизить стоимость проходки 1 м ствола.

Представляет интерес, как соотносятся между собой эксплуатационные производительности: ручных перфораторов, применяемых в горизонтальных выработках и стволах; буровых установок в аналогичных случаях; буровой установки и совокупности ручных перфораторов при различных площадях сечения стволов; в какой мере изменяется эксплуатационная производительность различных видов бурового оборудования при изменении коэффициента крепости пород.

Используя данные [1], рассчитаем часовую эксплуатационную производительность ручных перфораторов в зависимости от коэффициента крепости пород (f) по шкале проф. М.М. Протождяконова (табл. 1).

Таблица 1

Эксплуатационная производительность бурения шпуров ручными перфораторами ПР-30К, ПП-50В, м/ч

Коэффициент крепости пород	Диаметр коронки, мм		
	42	55	65
4-6	4,38	3,25	1,85
7-9	3,45	2,77	1,47
10-12	2,92	2,22	1,21
13-15	2,53	2,01	1,03
16-18	2,21	1,83	0,90

Обращает на себя внимание низкий (по сравнению с ручными перфораторами, используемыми при проходке горизонтальных выработок) уровень производительности. Так, например, при $f=10$, в случае проходки ствола, он примерно в 3 раза, а при $f=16-18$ в 2,5 раза ниже, чем при проходке горизонтальных выработок (рис. 1).

Так же рассчитаем часовую эксплуатационную производительность используемых для бурения шпуров в забое ствола установок БУКС-1М, СМБУ-4М (табл. 2), оснащенных четырьмя перфораторами.

Сравнивая их производительность с буровыми установками, применяемыми в горизонтальных выработках (например, СБКН-2М), следует указать на примерно

двукратное, в соответствующих случаях, превышение производительности СБКН-2М, несмотря на то, что она снабжена только двумя перфораторами.

Исследуем степень изменения эксплуатационной производительности стволовых ручных перфораторов и буровых установок в зависимости от коэффициента крепости пород по шкале проф. М.М. Протождяконова (рис. 2).

Сравнительный анализ показывает, что буровые установки БУКС-1М (и аналогичные им) при увеличении f от 4-6 до 16-18 изменяют производительность со 100% до 31,51%. В то же время ручным перфораторам удается в относительно большей сте-

пени сохранять свою эксплуатационную производительность: так, если при $f = 4-6$ она составляет 100%, то при $f = 16-18$ она остается на уровне 50,5%.

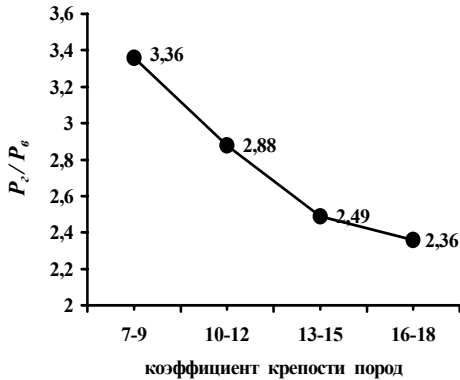


Рис. 1. Отношение производительности перфораторов в горизонтальных выработках, P_z , (ПП-54В) к производительности в вертикальных стволах, P_e , (ПП-50В)

Одним из способов повышения эксплуатационной производительности средств бурения шпуров в забое ствола является отказ от применения буровых установок и использование большого количества ручных перфораторов. Такая мера является вынужденной и может быть рекомендована в исключительных случаях. Весьма негативными факторами подобного выступают работы во вредных условиях, обилие ручного труда и т.п., но при этом производительность буровых работ резко повышается.

Количество применяемых в забое ствола ручных перфораторов принимается исходя из площади его сечения, приходящейся на 1 перфоратор. Проф. Н.М. Покровский, делая акцент на разграничении применения перфораторов для обычной и скоростной проходки стволов [2], рекомендует рассчитывать число перфораторов, выделяя на каждый соответственно 4-6 и 2 м². Ряд других авторитетных экспертов указывают на необходимость отводить на каждый из них соответственно 4-5 и 1,5-2 м² [3].

Таблица 2

Эксплуатационная производительность бурения шпуров установками БУКС-1М, СМБУ-4М, м/ч

Диаметр коронки, мм	Коэффициент крепости пород				
	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18
42	15,87	12,20	7,69	5,88	5,00
55	11,50	9,09	5,88	4,52	3,57

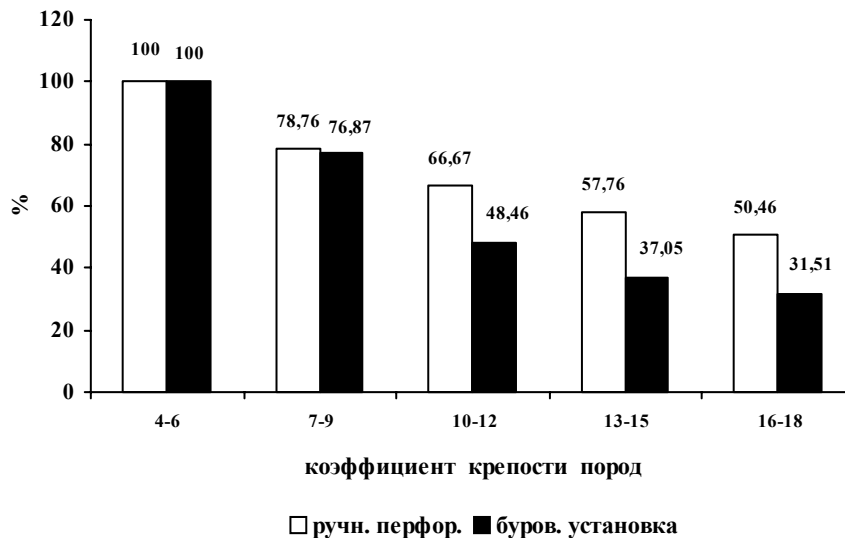


Рис. 2. Динамика относительной эксплуатационной производительности бурения шпуров различным оборудованием

Указав выше на очевидные недостатки применения ручных перфораторов, отметим и важные организационно-технические преимущества. К их числу, помимо упомянутого, следует отнести возможность быстрой замены неисправных перфораторов, сравнительно невысокую стоимость самих перфораторов и эксплуатационные затраты, надежность, определяемая простотой конструкции, низкий удельный вес времени вспомогательных операций по отношению ко времени чистого бурения шпура и др. Вместе с тем, ритмичное применение ручных перфораторов при большом насыщении ими забоя ствола требует четкой организации работ, взаимодействия различ-

ных участников процесса и повышенного внимания к предотвращению травм.

Оценим число ручных перфораторов, используемых в забое ствола при скоростной проходке, при различном его диаметре (табл. 3), приняв норму площади забоя, приходящуюся на один перфоратор $S_f \approx 2,5$ и 3 м².

Учитывая данные табл. 3, определим суммарную, с учетом возможности их совмещения, эксплуатационную производительность ручных перфораторов для стволов различных диаметров при изменении коэффициента крепости пород (табл. 4).

Таблиця 3

Количество перфораторов в забое ствола

Диаметр ствола вчерне, м	Площадь сечения вчерне, м ²	Число перфораторов при норме	
		$S_f \approx 2,5 \text{ м}^2$	$S_f \approx 3 \text{ м}^2$
4,5	15,9	6	5
5	19,6	7	6
5,5	23,7	9	8
6	28,3	11	9
6,5	33,2	13	11
7	38,5	15	12
7,5	44,2	17	14
8	50,2	20	16

Таблиця 4

Суммарная эксплуатационная производительность ручных перфораторов, м/ч

Диаметр ствола вчерне, м	Коэффициент крепости пород			
	16-18	13-15	10-12	7-9
4,5	8,85	10,12	11,68	13,8
5	10,62	12,144	14,016	16,56
5,5	14,16	16,192	18,688	22,08
6	15,93	18,216	21,024	24,84
6,5	19,47	22,264	25,696	30,36
7	21,24	24,288	28,032	33,12
7,5	24,78	28,336	32,704	38,64
8	28,32	32,384	37,376	44,16

Полученные результаты, особенно с учетом отмеченной выше относительно большей способности ручных перфораторов к сохранению производительности при росте значений коэффициента крепости пород, показывают на возможность, за счет применения в забое ствола значительного количества ручных перфораторов, обеспечения достаточно высокой производительности бурового оборудования. Сопоставим значения суммарной эксплуатационной производительности ручных перфораторов (P_n) и бурильной установки БУКС-1М (P_y) рис. 3.

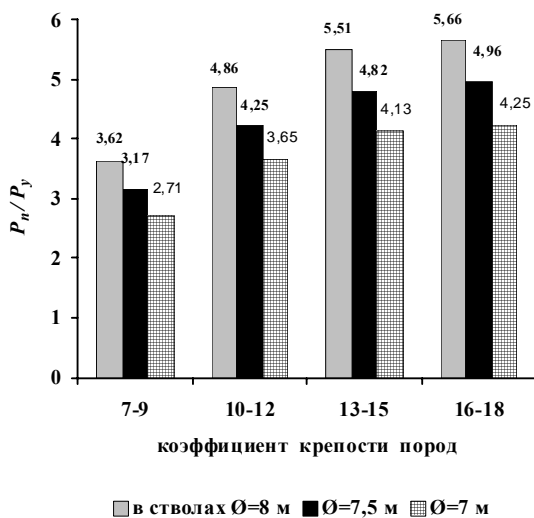


Рис. 3. Отношение P_n / P_y при различной крепости пород

Очевидно, что в крепких и весьма крепких породах суммарная эксплуатационная производительность ручных перфораторов в значительно большей степени доминирует по отношению к производительности буровых установок, чем в менее крепких

породах. Так, например, если при диаметре ствола вчерне 8 м в породах с $f = 7-9$ отношение производительностей P_n/P_y будет находиться на уровне 3,62, то при $f = 16-18$ оно возрастет до 5,66.

Таким образом, сравнительный анализ эксплуатационной производительности применяемого при проходке стволов различного бурового оборудования при изменении коэффициента крепости пород показывает:

- эксплуатационная производительность ручных перфораторов, применяемых в горизонтальных выработках в породах с $f = 7-9$ в 3,36 раза, а в породах с $f = 16-18$ в 2,4 ниже, чем используемых в стволах;

- указанная производительность одиночного ручного перфоратора при низкой крепости пород, порядка $f = 4-6$, уступает производительности буровой установки в 3,6 раза, в то время как при высокой крепости пород, например, $f = 16-18$, только в 2,27 раза, что свидетельствует о большей способности к сохранению производительности у ручных перфораторов;

- при строительстве стволов большого диаметра, особенно в крепких и весьма крепких породах, суммарная эксплуатационная производительность ручных перфораторов может превышать производительность буровых установок в 4,3-5,7 раза.

Список литературы

1. Отраслевые нормы выработки и времени на горнокапитальные работы при строительстве шахт и рудников черной металлургии / В.П. Кистанов, А.А. Макеев и др. – Кривой Рог, НИГРИ, 1988. – 400 с.
2. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений. – М.: Недра, 1982. – 295 с.
3. Смирняков В.В., Вихарев В.И., Очкуров В.И. Технология строительства горных предприятий. – М.: Недра, 1989. – 573 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Федоренком 03.04.09

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТЫ «ШАХТЕРСКАЯ-ГЛУБОКАЯ»

Наведено результати шахтних досліджень поведінки породного масиву навколо підготовчих виробок в умовах шахти «Шахтарська-Глибока».

Приведены результаты шахтных исследований поведения породного массива в окрестности подготовительных выработок в условиях шахты «Шахтерская-Глубокая».

The results of mine researches of carrying out of rocky array behavior in the vicinity of the preparatory working in the conditions of mine «Shakhterskaya-Glubokaya» are presented.

Введение. Увеличение глубины разработки пластовых полезных ископаемых и соответственно рост горного давления ставит под сомнение существующие теории напряженно-деформированного состояния вмещающего горного массива, рассчитанные для небольших глубин, и требует разработки принципиально новых подходов к обеспечению устойчивого состояния подготовительных выработок.

Многочисленными наблюдениями за изменением состояния подготовительных штреков шахты «Шахтерская-Глубокая» во время эксплуатации установлена неадекватность проявления горного давления при различных видах крепи и способах их поддержания.

В связи с этим более детальные натурные исследования вышеуказанного факта и обоснование способа повышения устойчивости подготовительных выработок за счет выбора рационального вида крепи и способов их поддержания является актуальной задачей.

Цель исследований состоит в установлении закономерности деформирования породного массива в окрестности подготовительных выработок.

Материалы и результаты исследований. Анализ результатов изучения горно-геологических и горнотехнических условий разработки на шахтах ГП «Шахтерскантрацит» позволил выбрать базовое предприятие – шахту «Шахтерская-Глубокая».

Как объект исследований принята зона отработки шахтного поля вокруг 1-й западной лавы УП ЦБ пласта h_8 и 1-й восточной лавы УП ЦБ пласта h_8 . Сечение подготовительной выработки – 13,8 м². Прохождение выработки выполняется проходческим комбайном КСП-32. Для крепления принята металлическая крепь КМП-А3. Затяжка боков и кровли – сплошная. Расстояние между рамами – 0,8 м.

Экспериментальный участок №1 заложен в 1-м западном конвейерном штреке УП ЦБ пласта h_8 , вне зоны влияния очистных работ. На арках крепи были заложены комплексные наблюдательные станции, предназначенные для измерения вертикальных и горизонтальных составляющих смещений контура крепи выработки, а также изменения кривизны арок крепи в насеченных на них характерных точках. Такая методика наблюдений позволяет установить динамику действующих изгибающих моментов для по-

следующего пересчета на динамику изменения нагрузок на крепь в зависимости от местоположения относительно каждого рассматриваемого сечения движущегося забоя. Общее количество станций, расположенных на рамах пикетов ПК70+4-ПК71+4 составило 10 шт. Экспериментальный участок №2 заложен в 1-м восточном конвейерном штреке УП ЦБ пласта h_8 на рамах пикетов от ПК32-ПК33, в зоне влияния очистных работ.

С целью установления характерных видов проявлений горного давления в подготовительных выработках было проведено визуальное их обследование, в ходе которого установлено, что наиболее характерными видами проявлений горного давления в протяженных выработках являются деформации и повреждения крепи (разрыв хомутов при просадке арок крепи в замках, деформации тела арок (с их разрывом в зоне влияния лавы, повреждение и разрушение затяжки) и пучение пород почвы. Указанные виды проявлений горного давления становятся более интенсивными при влиянии очистных работ. Показатель устойчивости для подготовительных выработок составляет вне зоны влияния очистных работ $\omega = 0,5 \dots 0,6$, в зоне влияния очистных работ $\omega = 0,2 \dots 0,3$.

В качестве основного метода исследований приняты инструментальные наблюдения за смещениями пород и крепи на контуре сечения выработок. Методика шахтных наблюдений включает количественные критерии состояния крепи, обоснование плана контроля (выбор представительного участка и необходимого числа контрольных рам), а также анкету по обследованию выработки. Важным элементом методики было исследование действующих усилий в элементах рамной крепи при помощи кривизномера, который представляет собой платформу с базой 100 мм с укрепленным индикатором часового типа с ценой деления 0,001.

Анализ данных о горно-геологических условиях разработки и свойствах вмещающих пород показывает, что исследуемые выработки находятся в достаточно сложных условиях эксплуатации. Средние и большие глубины ведения работ, слабые вмещающие породы, наличие развитой сети мелких тектониче-

ских нарушений и тектонических зон отрицательно сказываются на состоянии выработок. К этому следует добавить влияние очистных работ, что существенно увеличивает сложность поддержания выработок в эксплуатационном состоянии.

Нагрузка на две соседние рамы неодинакова, причем ее величина на длине одного шага рам может изменяться несколько раз. Такая неравномерность в распределении нагрузки на крепь вдоль выработки объясняется неплотностью забутовки, нарушением и неоднородностью окружающих пород, различием механических характеристик отдельных рам крепи, несовпадением моментов срабатывания замков податливости, неудачной конструкцией затяжки. В результате плоскость действия нагрузки отклоняется от центральной плоскости рамы, так что элементы крепи, наряду с обжатием продольной силой и изгибом в плоскости рамы, испытывают также скручивающие воздействия и изгиб из упомянутой плоскости.

Анализируя данные о состоянии горных выработок и результаты выполненных визуальных обследований, отметим, что значительная часть осмотренных выработок находится в неудовлетворительном состоянии, мешает ритмичной работе шахты, ухудшает проветривание и транспортирование. Таким образом, методика натурных наблюдений предусматривает оценку работоспособности крепей по величине и интенсивности процессов смещения пород на контуре выработки, деформации сечения и элементов крепи.

Результаты измерений использовались для расчета изгибающих моментов, возникающих в различных сечениях каждой отдельной крепежной рамы замерной станции в процессе ее работы.

Кроме наблюдений за смещениями пород на контуре выработки, на замерных станциях, предусмотрены измерения величин относительных смещений верхняков и стоек в узлах податливости. Результаты измерений приведены на рис. 1.

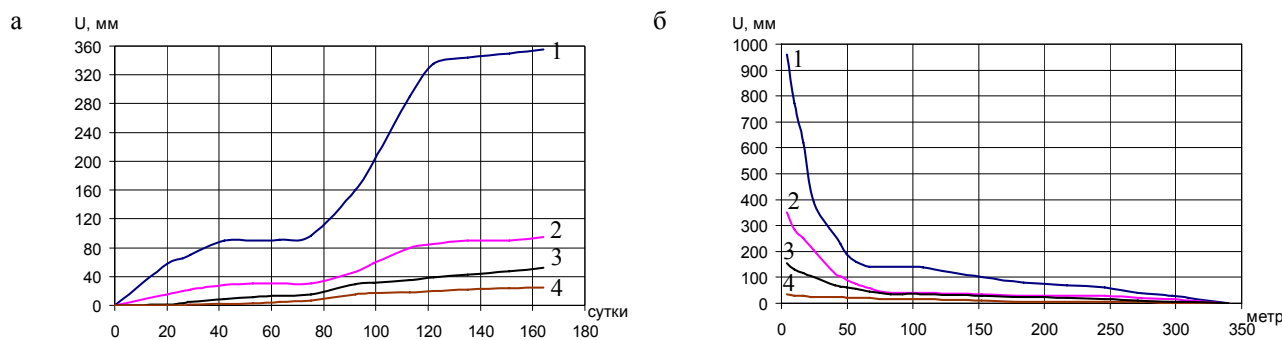


Рис. 1. Изменение величины вертикальной 1 и горизонтальной 2 конвергенции и замков податливости (восстание 3 и падение 4) в зависимости от времени (а) и расстояния до лавы (б)

Периодичность всех замеров устанавливается в зависимости от скорости продвижения забоев (подготовительных и очистных), интенсивности смещений пород и расстояния до замерных станций. В начальный период после возведения крепи при проведении выработок замеры производятся ежесуточно. Через 12-14 дней и до стабилизации смещений – 2 раза в месяц. При приближении очистного забоя к замерной станции, начиная с 100 м, частота замеров увеличивается. При обнаружении опорного давления замеры производятся ежесуточно.

В период проведения наблюдений в рабочий журнал заносятся сведения, касающиеся отступлений от паспортов крепления, примерных размеров и качества забутовки закрепного пространства и др. В дальнейшем в процессе наблюдений отмечаются все изменения состояния рам крепи: деформации ее элементов, разрушения скрепляющих деталей и т.д.

Анализ результатов шахтных исследований показывает следующее:

- шахтные способы крепления и охраны выработок неэффективны;

- значительная часть выработок находится в неудовлетворительном состоянии, наиболее характерными видами проявлений горного давления в подготовительных выработках являются деформации и по-

вреждения крепи и незначительное пучение пород почвы;

- в выработке вне зоны влияния лавы можно выделить три зоны поведения окружающего массива: первая – обжатие выработки и незначительные смещения контура (до 75 сут), вторая – интенсивные смещения контура (75-120 сут), третья – затухание процессов смещения контура (после 120 сут) (рис. 1, а);

- величина относительных смещений верхняков и стоек в узлах податливости со стороны восстания в 2 раза больше, чем со стороны падения (рис. 1, а);

- пучение пород почвы практически не наблюдается (смещения почвы составляют до 15% от вертикальной конвергенции);

- в выработке в зоне влияния лавы – две зоны поведения окружающего массива: первая – незначительные смещения контура выработки (расстояние до лавы более 70 м), вторая – интенсивные смещения контура выработки (расстояние до лавы менее 70 м) (рис. 1, б);

- величина относительных смещений верхняков и стоек в узлах податливости со стороны восстания также в 2 раза больше, чем со стороны падения в первой зоне, а во второй – в 3,5 раза (рис. 1, б);

– при приближенні лави на расстояние до 30 м активізується процес пучення (сміщення почвы составляют до 30% от вертикальной конвергенции);

– на момент вводу подготовительной выработки в эксплуатацию вертикальная конвергенция составила 51 см.

Выводы. Таким образом, результаты натурных исследований являются исходными данными для

разработки способов и средств обеспечения устойчивости подготовительных выработок, которые будут использованы при создании лабораторных и математических моделей.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 28.03.09

УДК 622.831.2

Є.В. Сарвас

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ПОРУШЕНОЇ ЗОНИ ГІРСЬКОГО МАСИВУ ВІД ВПЛИВУ ПІДГОТОВЧИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

Розглядається поширення тріщин по пласту в крайовій частині лави для різних гірничо-геологічних умов і визначення закономірності поширення тріщин.

Рассматривается распространение трещин по пласту в краевой части лавы для разных горно-геологических условий и определение закономерности распространения трещин.

In the article distribution of cracks on a layer in a regional part of a lava for different mountain-geological conditions and definition of law of distribution of cracks is considered.

У сучасній практиці підготовки очисних вибоїв широко використовується безціликова схема з повторним використанням підготовчих виробок і проведенням вприсічку. Така схема виймання дозволяє знизити втрати корисної копалини. При визначених гірничо-геологічних умовах немає можливості повторного використання виробок і необхідне їх проведення вприсічку. При такому розташуванні підготовчих виробок виникає питання про розмір цілика між виробками, а якщо більш ретельно розглянути це завдання, то нам необхідно визначити розміри порушеної зони гірського масиву в цілику з боку підготовчої виробки як ознака локальної зони розвантаження.

У нормативних документах [1] підготовчу виробку проводять з відставанням від вибою лави на 120-150 метрів з залишенням цілика L . Даний параметр є відстанню від крайової частини шару до лінії перегину епюри напруг масиву після відпрацювання лави з горизонтальною лінією, що відображає значення геостатичного напруженого стану масиву (рис. 1). Фактично це місце розподілу напруг на локальну зону розвантаження і зону привантаження [2].

З метою встановлення геометричних параметрів прояву гірського тиску в зонах впливу очисних робіт виконані дослідження порушення вугільного шару і гірських порід у вибоях очисних і підготовчих виробок. Ці дослідження полягають у виявленні тріщинуватості порід, що має техногенне походження, вимірі розкриття техногенних тріщин і величин зміщення порід. Дослідження проведені в двох напрямках:

– моніторинг порушеності порід у вибоях підготовчих виробок, пройдених вприсічку до раніше відпрацьованої лави;

– моніторинг стану гірських порід в очисних вибоях лав з боку виймальних штреків (у крайових частинах лав).

Аналіз геологічних книжок ш. “Західно-Донбаська” і моніторинг стану прохідницьких вибоїв дозволяє зробити наступні висновки про ширину зони впливу лави на невідпрацьовану частину масиву: при проведенні виймальних виробок вприсічку до відпрацьованої частини масиву з залишенням цілика 2,0-2,5 м, у вибої спостерігається одне або два техногенних порушення з амплітудами зсуву гірських порід від 0,06 до 0,2 м, масив тріщинуватий (10-20 тріщин/п.м). Відстань від борта виробки до техногенного порушення коливається від 1,0 до 1,5 м. Виключення складають місця виробки зі зміною літології, тобто у місцях заміщення покрівлі пласта, складеної аргілітом, пісковиком або алевролітом. У даних випадках пісковик, сприймаючи на себе частину навантаження, перешкоджає тріщиноутворенню та утворенню техногенного порушення.

Також було виконано моніторинг крайових частин лав: № 403-ї та 411-ї ш. “Павлоградська”, № 870-ї та 874-ї ш. “Західно-Донбаська”, № 349-ї ш. “Тернівська” та № 111-ї і 109-ї ш. “Степова”. При виконанні даних робіт були зафіксовані тріщини, які присутні на пласті у крайовій частині лави, зйомка проводилася на відстані до 10 метрів. По кожній лаві виконувався один вимір, разом отримано 9 вимірів. Приклад зйомки показаний на рис. 2.

За результатами моніторингу крайових частин очисних вибоїв побудовані графіки залежності ширини порушеної зони L в очисному вибої лави від глибини розробки H (рис. 3).

Ширина порушеної зони L в очисному вибої лави з боку раніше відпрацьованої лави описується виразом:

$$L = 0,03H + 1,8.$$

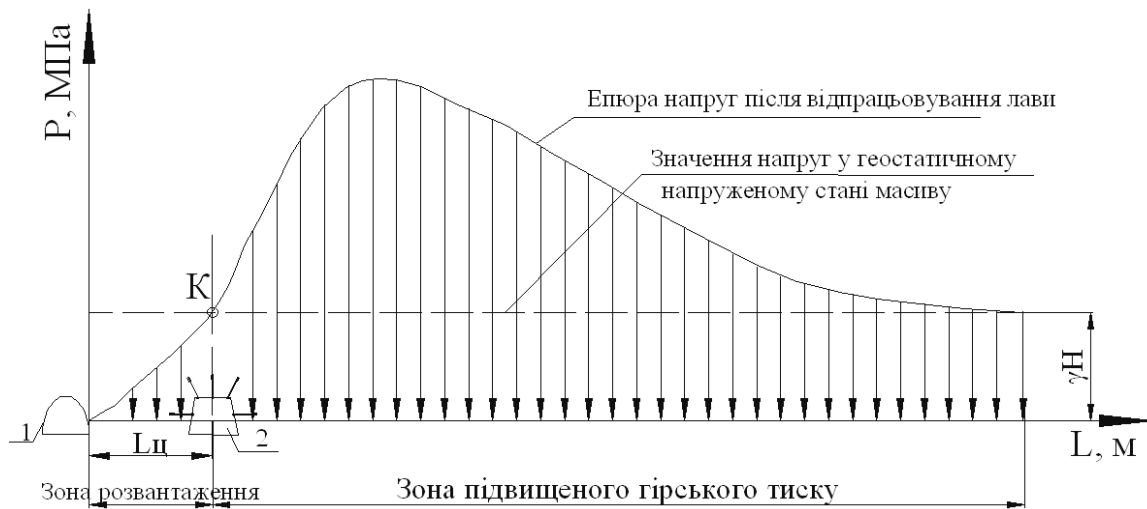


Рис. 1. Епюри напруг у масиві гірських порід, де показано по осі абсцис – ширина зони опорного тиску $L(m)$, по осі ординат – напруга в масиві $P(MПа)$

З боку цілика ширина порушеної зони визначається за формулою $L = 0,02H + 0,6$.

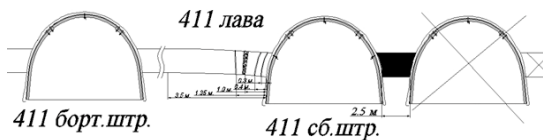


Рис. 2. Приклад зйомки крайової частини лави

Аналіз вказує на високу вірогідність отриманих залежностей – коефіцієнт кореляції для обох виразів перевищує 0,9.

Дотримуючись принципу суперпозицій, із наведених вище виразів для визначення ширини поруше-

ної зони в очисному вибої лави можна зробити висновок про те, що в діапазоні зміни глибини розробки вугільного пласта від 100 до 450 м видима порушеність вугільного пласта в цілику з боку підготовчої виробки поширюється на відстань 2-6 м.

Моніторинг деформування вугільного пласта і гірських порід у вибоях очисних і підготовчих виробок у зоні впливу очисних робіт дозволяє зробити наступні висновки: зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт збільшується розмір порушеної зони масиву гірських порід; оптимальним місцем розташування гірничої виробки є перехід локальної зони розвантаження в зону привантаження, де напружений стан масиву дорівнює геостатичному тиску.

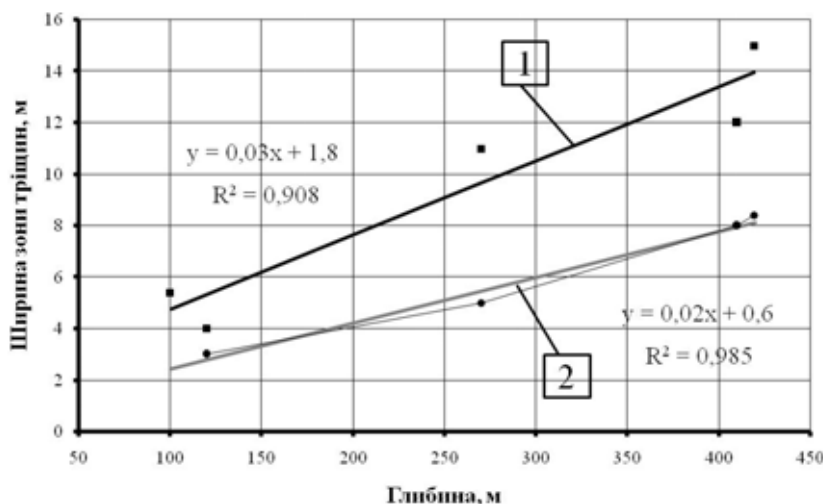


Рис. 3. Залежність ширини порушеної зони в очисному вибої лави від глибини розробки: 1 – з боку відпрацьованої лави, 2 – з боку цілика

Список літератури

1. Методические указания. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. – Минуглепром, 1998. – 149 с.

2. Бурчаков Л.С, Жежелевский Ю.А., Ярунин С.А. Технология и механизация подземной разработки месторождений. – М.: Недра, 1989. – 431 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Ю.М. Халимендиком 23.03.09

УДК 622.268.6

Д.В. Пронский, Ю.И. Кобзарь, Ю.П. Должиков

**О ПЕРЕКРЕПЛЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ЗНД В ОБВОДНЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Розглянуто питання формування навантаження на кріплення обводнених виробок. Для цих умов запропонована динамічна модель розвитку зони непружних деформацій порід та удосконалена методика проектування параметрів перекріплення виробок.

Рассмотрены вопросы формирования нагрузки на крепь обводненных выработок. Для этих условий предложена динамическая модель развития зоны неупругих деформаций пород и усовершенствована методика проектирования параметров перекрепления выработок.

This article deals with the questions of forming of load at the set of the watering mines. For these terms the dynamic model of development of area of stiff deformations of rocks is offered and the design technique parameters of retimbering of mines is improved.

Поддержание подземных выработок является сложной, но необходимой задачей горного производства. В настоящее время около 60% горных выработок угольных шахт Донбасса требуют восстановления и ремонта для их нормальной эксплуатации. Из-за увеличения глубины работ и наличия осложняющих горно-геологических факторов растет частота перекреплений, достигающая порядка 3-5 раз в год, увеличивается трудоемкость работ по восстановлению, растет численность рабочих-ремонтников. Как показывают исследования, основным осложняющим фактором, влияющим на устойчивость выработки, является ее обводненность. В эксплуатируемых выработках, на участках с развивающимся водопритоком процесс формирования зоны неупругих деформаций (ЗНД) не стабилизируется, а продолжает активно развиваться. При этом незапроектированное увеличение нагрузки на крепь приводит к значительным деформациям элементов крепи, выходу из строя узлов податливости, отказам межрамных ограждений и вывалообразованиям (рис. 1). Следует отметить, что эти явления имеют локальный характер и, как правило, приурочены к структурно-неустойчивым обводненным зонам породного массива [1]. Таким образом, этот вопрос является весьма актуальным и требующим детального изучения.

Целью исследования является разработка методики проектирования параметров перекрепления горизонтальных выработок в обводненных условиях, позволяющей наиболее точно спрогнозировать величину свода раздробленных пород над эксплуатируемой выработкой и запроектировать рациональные параметры ее перекрепления.

Известно, что величина установившейся ЗНД и время стабилизации, главным образом, зависят от физико-механических свойств вмещающих выработку пород. Например, при проведении выработки по песчаным сланцам прочностью 40-60 МПа величина ЗНД составляет 4-6 м, а время ее полного формирования около 60-90 суток. Для глинистых сланцев прочностью 30-40 МПа эти параметры составляют соответственно 6-10 м и 15-30 суток [1]. Однако на участках выработок, подверженных притокам шахтных вод, происходит активизация процес-

са развития ЗНД, что зачастую приводит к вывалообразованиям в эксплуатируемых выработках.

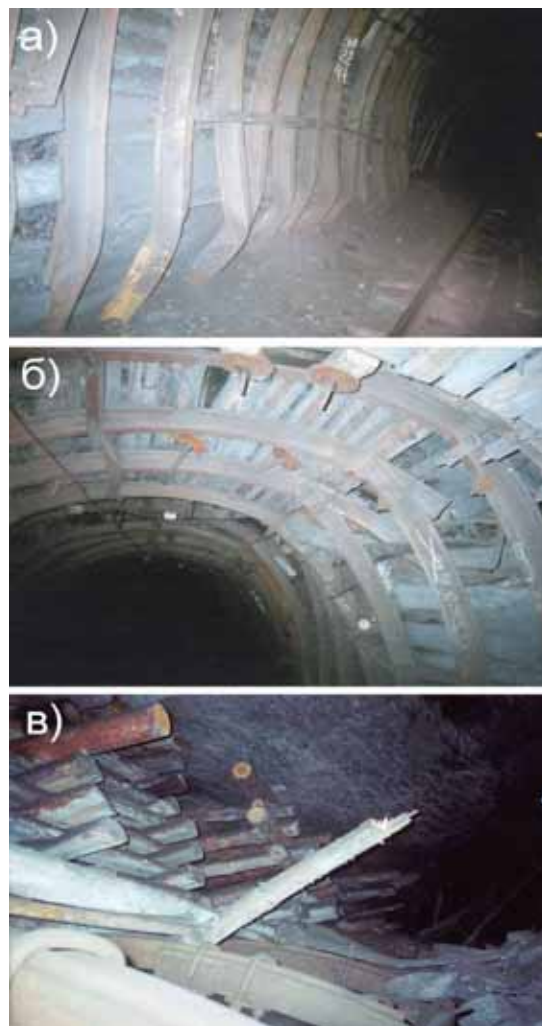


Рис. 1. Фрагменты аварийных участков выработок ОП «Шахта «Комсомольская» ГП «Антрацит»: а – деформация стоек крепи; б – выход из строя узлов податливости; в – куполообразование в результате вывала пород

Например, такая ситуация произошла в восточном разведочно-дренажном штреке пласта h_8 гор. 880 м шахты «Комсомольская» (рис. 2). Выработка закреплена трехзвенной арочной податливой крепью АП-13,8 из спецпрофиля №27. Расчетная величина установившейся ЗНД и плотность установки рам крепи составляют соответственно 3,9 м и 1,0 рама/м. Интенсивное воздействие водопритока, связанное с зоной дизъюнктивного нарушения, привело к увеличению ЗНД на 2,6 м, в результате чего крепь оказалась неработоспособной и произошел вывал горных пород.

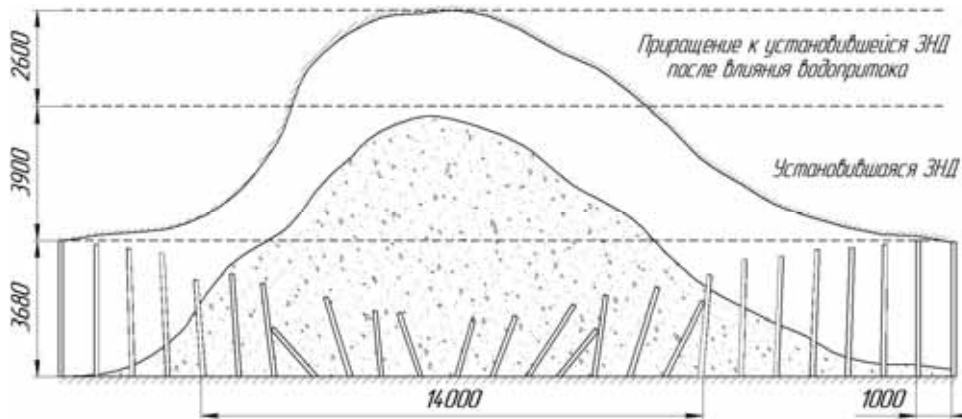


Рис. 2. Схема вывалообразования в восточном разведочно-дренажном штреке

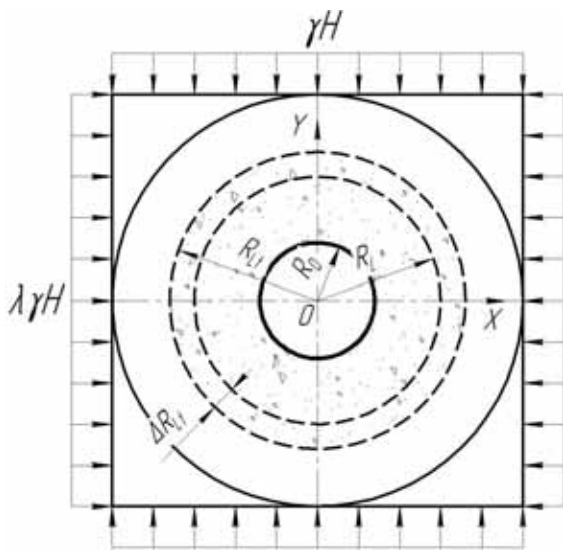


Рис. 3. Динамическая модель ЗНД при обводнении выработки

Многочисленными исследованиями установлена экспоненциальная закономерность изменения величины ЗНД во времени [2]. Также доказано, что динамика дополнительного развития ЗНД под действием водопритоков тоже носит экспоненциальный характер и зависит от интенсивности трещинообразования и горно-геологических условий заложения и эксплуатации выработки. Наиболее адекватно моделирует процесс приращения ЗНД во времени уравнение следующего вида:

Для описания динамики процесса предлагается геомеханическая модель (рис. 3), согласно которой радиус ЗНД с учетом времени воздействия водопритока определяется по формуле:

$$R_{Lt} = R_L + \Delta R_{Lt} \text{ м,} \quad (1)$$

где R_L – установившийся средний радиус ЗНД вокруг выработки вне зоны влияния водопритока, м; ΔR_{Lt} – приращение к установившемуся среднему радиусу ЗНД после влияния водопритока в течение времени Δt , м.

$$\Delta R_{Lt} = A \cdot (R_L - R_0) \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot \Delta t}) \text{ м,} \quad (2)$$

где A – коэффициент, характеризующий интенсивность развития ЗНД под влиянием водопритока (0,5-1,0); R_0 – радиус контура горной выработки, м; Δt – приращение ко времени с начала фиксации повышенного водопритока в выработку, мес.; α – показатель горно-геологических условий заложения и эксплуатации выработки, мес.⁻¹.

Параметры, формирующие показатель α , должны учитывать прочностные свойства и угол падения вмещающих пород, глубину заложения и геометрию выработки, влияние неоднородности массива и других выработок и, самое главное, величину водопритока и интенсивность деформационных процессов в эксплуатируемой выработке. Расчет комплексного показателя горно-геологических условий заложения и эксплуатации выработки осуществляется по формуле:

$$\alpha = \frac{\gamma \cdot \dot{I} \cdot k_s \cdot k_a \cdot k_t}{\sigma_n \cdot k_w \cdot k_\alpha \cdot k_c} \text{ мес.}^{-1}, \quad (3)$$

где γ – средневзвешенный удельный вес пород над выработкой, МН/м³; H – глубина заложения выработки, м; k_s – коэффициент влияния площади поперечного сечения выработки (0,52-0,82 при площади поперечного сечения выработки в черне 9-16 м²); k_e – коэффициент воздействия других выработок (1 – для одиночных выра-

боток; 1,6 – для пересікаючихся вироботок); k_t – коефіцієнт, характеризуючий швидкість проявлених деформацій крепи в вироботке, мес.^{-1} ,

$$k_t = \frac{N}{t_{\text{набл}}} \text{ мес.}^{-1}, \quad (4)$$

где N – число отклонений крепи от нормального эксплуатационного состояния (за единицу отклонения принято: поперечный излом межрамных ограждений, выход из строя отдельных частей узлов податливости крепи, деформации верхняка крепи, деформации стоек крепи, полная потеря устойчивости крепи); $t_{\text{набл}}$ – время наблюдения за состоянием крепи после того, как зафиксирован повышенный водоприток в выработку, мес. (принимается равным 1-3 мес.); σ_c – предел прочности пород кровли выработки на одноосное сжатие, МПа; k_w – коэффициент, учитывающий характер водопроявления в выработке;

$$k_w = \frac{Q_0 \cdot k_n}{Q_t \cdot k_{mp}}, \quad (5)$$

где Q_0 – средний водоприток в выработку за период от начала проведения выработки до времени формирования установившийся ЗНД вокруг выработки, $\text{м}^3/\text{ч}$; Q_t – средний водоприток в выработку в течение 1-3 месяцев с начала фиксации повышенного водопритока в выработку, $\text{м}^3/\text{ч}$; k_n – коэффициент геометрического несовершенства ЗНД (1,3-2); k_{mp} – коэффициент, учитывающий трещиноватость пород (1,2-1,5); k_α – коэффициент влияния угла падения пород и направления выработки относительно простирания пород (при углах падения пород до 40° : 1-0,8 – при проведении выработки по простиранию; 0,7-0,45 – при проведении выработки вкрест простирания; 0,85-0,65 – при проведении выработки под углом к простиранию); k_c – коэффициент структурного ослабления (0,6-0,7).

На рис. 4 для условий ОП «Шахта «Комсомольская» приведены теоретические закономерности дополнительного развития ЗНД под влиянием притока шахтных вод для различных литологических разностей, адекватность которых подтверждена шахтными исследованиями методом глубинных реперов.

На основе полученных результатов усовершенствована методика проектирования параметров перекрепления горизонтальных выработок на участках, подверженных развивающимся водопритокам, которая поэтапно учитывает расчет следующих параметров:

- величины установившегося среднего радиуса ЗНД до влияния водопритока;
- показателя горно-геологических условий заложения и эксплуатации выработки;

- приращения ЗНД после влияния водопритока в течение времени;
- нагрузки на крепь горной выработки;
- необходимой плотности установки рамной крепи.

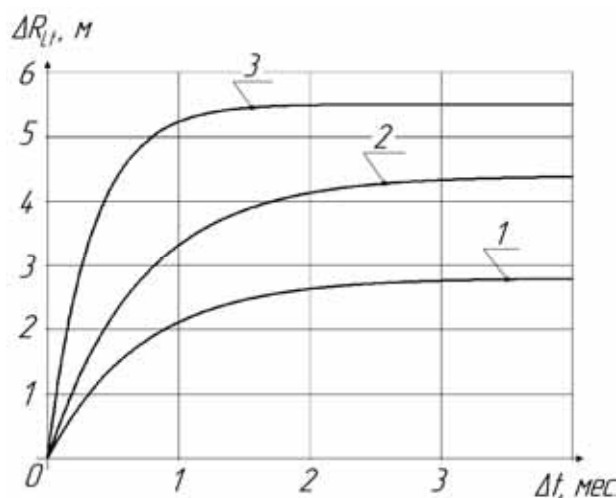


Рис. 4. Закономерность развития ЗНД во времени под влиянием водопритока: 1 – песчаный сланец; 2 – песчано-глинистый сланец; 3 – глинистый сланец

Выводы

Действующая в угольной промышленности методика расчета параметров крепления выработок [3] не принимает во внимание дополнительное разупрочнение пород и развитие ЗНД под влиянием притока подземных вод, как в радиальном направлении, так и вдоль выработки. В этой связи наиболее целесообразным будет применение предлагаемой методики проектирования, которая позволит более точно рассчитать нагрузку на крепь от вмещающих обводненных пород, предотвратить вывалообразование в выработку, исключить перерасход материалов на крепление и обеспечить длительное и безремонтное поддержание горной выработки.

Список литературы

1. Тектонические нарушения – один из факторов гидроактивизации геомеханических процессов в породах массивах / Смородин Г.М., Кобзарь Ю.И., Кипко А.Э., Сергиенко Р.Н. // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 12. – С. 19-23.
2. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.
3. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. – К., Мінвуглепром України, 2007. – 116 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. А.М. Роском 18.04.09

ВЫБОР И ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЯЧЕИСТОЙ ТВЕРДЕЮЩЕЙ СМЕСИ ДЛЯ ЗАБОЙКИ ШПУРОВЫХ И СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

Наведено методику і результати експериментальних досліджень для оцінки впливу водотвердого відношення і коефіцієнта здимання поверхні на оптимізацію складу твердіючої суміші.

Приведена методика и результаты экспериментальных исследований для оценки влияния водотвердого отношения и коэффициента вспучивания поверхности на оптимизацию состава твердеющей смеси.

The methods and the results of the experimental researches that refer to valuation the influence of water-solid ratio and surface swelling coefficient on hardening mixture optimization ore adduced.

Введение. На современном этапе развития горных работ интенсификация производственных процессов добычи и переработки полезных ископаемых может быть реализована внедрением новой техники, технологии и совершенствования их на новом техническом уровне, позволяющих снизить себестоимость и энергоёмкость товарной продукции. Отличительная особенность добычи полезных ископаемых в условиях шахт Донбасса – это увеличение глубины горных работ, что ведет к росту затрат на подготовку новых добычных горизонтов. Это обусловлено усложнением горнотехнических условий разработки и трудоёмкостью ведения работ в забоях подготовительных выработок, проводимых в статически напряжённом горном массиве, энергией взрыва. Поэтому на современном этапе основным способом отбойки горных пород при проходке подготовительных выработок в этих условиях все еще остается буровзрывной. Следовательно, особое значение приобретает правильность выбора и обоснование рациональных параметров новых способов отбойки горных пород и учет этих параметров в паспортах буровзрывных работ (БВР) в условиях повышенного горного давления.

Состояние вопроса. Исследованиями установлено [1-2], что важная роль в управлении интенсивностью дробления горных пород и запыления газообразных продуктов детонации (ГПД) при взрыве зарядов взрывчатых веществ (ВВ) принадлежит забойке. Она оказывает существенное влияние на эффективность и безопасность взрывного разрушения горных пород, увеличивает длительность начального давления и время воздействия ГПД на породу, уменьшая начальную скорость истечения ГПД из устья шпура, снижает выброс раскаленных продуктов детонации в призабойное пространство, что особенно важно при ведении взрывных работ в шахтах, опасных по газу и угольной пыли.

Цель работы – провести экспериментальные исследования в лабораторных условиях по оптимизации состава твердеющей смеси с учетом водотвердого отношения и коэффициента вспучивания поверхности.

Методика и результаты исследований. На управление вышеописанными процессами существенное влияние оказывают свойства материала за-

бойки и ее длина в конструкции заряда ВВ. Для решения этих важных проблем нами с коллективом специалистов Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины разработаны новые составы твердеющих смесей для забойки шпуровых и скважинных зарядов и обоснованы оптимальные соотношения компонентов, входящих в состав смеси. Основным компонентом состава был выбран природный ангидрит (сульфат кальция – CaSO_4), как сопутствующее сырье при добыче гипса. А поскольку ставилась задача создать забоечный материал, способный в процессе затвердевания расширяться и оказывать дополнительное давление на стенки шпура, то в смесь ввели лигносульфонаты [3] – соли серной и лигносульфоновых кислот, являющиеся отходами сульфитного способа получения целлюлозы. Товарное название продукта – «Концентраты сульфитодрожжевой бражки – КБТ, КБЖ». Разработанные составы имеют следующие соотношения компонентов, в массовых %, а именно:

1. Алюмокалиевые квасцы	– 13,1–15,4
Вода	– 18,4–23,0
Лигносульфонаты	– 6,5–9,3

Состав, содержащий 60% природного ангидрита фракции $d_{фр.} = 2-4$ мм и 40% хвосты (ил) – отходы обогащения угля фракции $d_{фр.} = 0,25-0,3$ мм, влажностью 13-15 и 20% доломитовой пыли. Остальное [4].

2. Алюмокалиевые квасцы	– 10,1–13,4
Вода	– 15,4–23,0
Лигносульфонаты	– 7,5–10,3

Состав, содержащий 60% природного ангидрита фракции $d_{фр.} = 3-5$ мм и 40% хвосты (ил) – отходы обогащения угля фракции $d_{фр.} = 0,25-0,5$ мм, влажностью 13-15%. Остальное [5].

Основная особенность этих составов состоит в том, что в их разработке использованы ингредиенты, являющиеся отходами переработки горнодобывающего комплекса, деревоперерабатывающей и металлургической промышленности.

Обоснование рационального соотношения компонентов в составе смеси проводилось с использованием линейной модели планирования экспериментов

при поиске оптимальных условий [6], которое оценивалось по водотвердому отношению и коэффициенту вспучивания поверхности.

Предварительные испытания показали, что твердеющие смеси по своему структурному составу представляют собой ячеистый материал, т.к. при их формировании важное значение оказывает совместное влияние доломитовой пыли и лигносульфонатов – в первом варианте, а во втором – лигносульфонатов и хвостов – отходы обогащения угля. Полученные композиции при соединении между собой приведенных выше компонентов, образуют множество ячеек, которые соединяясь перекрывают и заполняют межфракционное пространство природного ангидрита или доменного шлака в смеси.

Структура ячеистого материала формируется во время вспучивания его от взаимодействия доломитовой пыли и хвостов с солями серной кислоты, являющихся основой лигносульфонатов. Солевые растворы лигносульфонатов, обволакивая частицы вяжущего – доломитовую пыль и хвосты, заполняют межфракционное поровое пространство, образуя ячейки, в которых протекает экзотермическая реакция, сопровождающаяся выделением тепла и углеводородных соединений с поризацией твердеющей смеси. В процессе взаимодействия компонентов смеси внутри ее образуются газовые пузырьки. С увеличением количества и их размеров межфракционное расстояние уменьшается, а следовательно, утоньшаются межпоровые растворные стенки-перегородки, свойства которых в значительной мере влияют на качество формируемой структуры.

При недостаточном количестве воды в смеси и преобладании мелких фракций природного ангидри-

та или доменного шлака во время формирования структуры ячеистого материала межпоровые стенки недостаточно эластичны и прочны. Под давлением газа поры разрушаются, происходит их слияние и образуются газопроводящие капилляры, по которым газ устремляется вверх и выделяется через поверхность вспучивающегося материала.

С целью изучения влияния газовыделений на качество пор, образующихся в растворной смеси в зависимости от различных технологических факторов разработана новая методика с учетом известных методик, приведенных в работах [7, 8].

Отличительная особенность разработанной методики состоит в том, что для оценки влияния водотвердого отношения (В/Т) на коэффициент вспучивания поверхности ячеистых смесей при оптимизации составов в период их вспучивания до полного схватывания разработан специальный стенд, схема которого приведена на рис. 1.

Суть ее заключается в следующем. При изучении степени вспучивания ячеистых твердеющих смесей подготовленный для исследований состав 1 (рис. 1) помещают в модель 2 цилиндрической или кубической формы, с выбуренной в центре ее полости 3 диаметром равной диаметру шпура или скважины, на поверхность которой устанавливают поршневое устройство 4, а торцевая часть его находится в контакте с ножкой индикатора 5 часового типа ИЧ-10, закрепленного на штативе 6, который фиксируется винтом 7 в корпусе модели 2. В процессе формирования вспучивающейся твердеющей смеси кинетику процесса оценивали по показаниям индикатора 5 с интервалом в 15 мин, а замер температуры смеси осуществлялся термопарой 8.

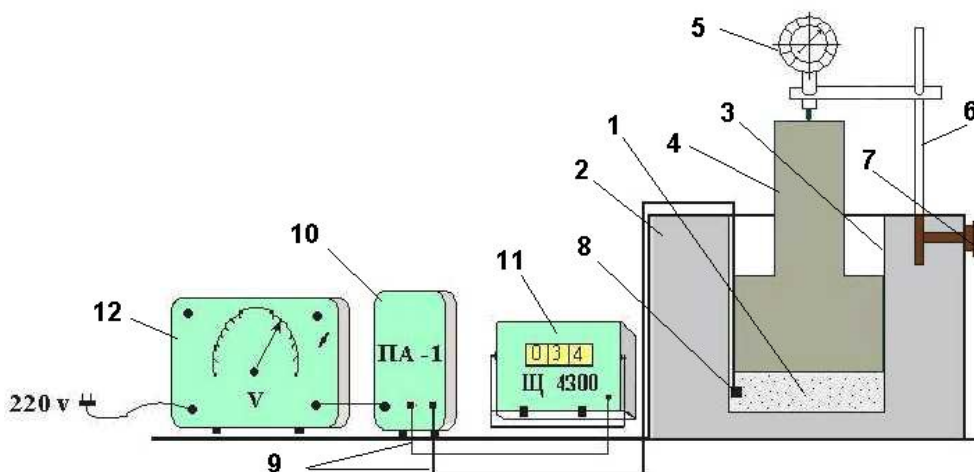


Рис. 1. Схема стенда для определения степени вспучивания и температуры ячеистой твердеющей смеси: 1 – твердеющая смесь; 2 – модель; 3 – цилиндрическая полость в модели; 4 – поршневое устройство; 5 – индикатор часового типа ИЧ-10; 6 – штатив; 7 – винт для крепления штатива в корпусе модели; 8 – термопара; 9 – экранирующий кабель; 10 – преобразователь напряжения ПА-1; 11 – комбинированный цифровой прибор ЦЦ4300; 12 – источник стабилизированного напряжения

Наведенная ЭДС на головке термопары 8 передается по экранированному кабелю 9 в преобразователь напряжения 10. Преобразованный сигнал в виде раз-

ности потенциалов поступает на комбинированный цифровой прибор 11. По результатам предварительных замеров и тарировки измерительной аппаратуры

составлялись тарировочные таблицы. Питание измерительной аппаратуры осуществлялось стабилизированным источником напряжения 12.

Показания цифрового прибора анализировались с данными тарировочных таблиц, а результаты вносились в таблицу экспериментальных данных исследуемого процесса. Снятие показаний изменений объема при вспучивании смеси осуществлялось с шагом 0,02° С при изменении температуры внутри смеси. В момент начала эксперимента температура смеси составляла 26-28° С.

Предлагаемая методика дает возможность получить сведения о скорости и характере вспучивания ячеистой смеси в процессе газовыделения через поверхность, а также продолжительность всего процесса формирования макроструктуры ячеистого материала. Согласно разработанной методики можно контролировать процесс структурообразования ячеистого материала на стадии его вспучивания и определять оптимальные условия протекания данного процесса. За оптимальные условия вспучивания принимались такие показатели, при которых вспучивающаяся смесь имеет максимальный коэффициент вспучивания при минимальном газовыделении с поверхности и отсутствия осадка вспученной массы.

С использованием данной методики были проведены исследования и по результатам экспериментальных замеров построены зависимости влияния водотвердого отношения на коэффициент вспучивания поверхности от продолжительности исследуемого процесса во времени. Результаты испытаний для исследуемых смесей приведены на рис. 2.

Исследованиями установлено, что избыточное количество воды в растворе, чем необходимо для полной гидратации частиц ангидрита или доменного шлака снижает его вязкость, что нежелательно. Активизация этих процессов способствует прорыву газовых пузырьков, которые достигая поверхности смеси, лопаются и тем самым ухудшают структуру смеси, а это ведет к ее осадке и снижению физико-механических характеристик.

Приведенные в работе результаты исследований по двум составам разработанных смесей указывают на то, что отсутствие или минимальное газовыделение через поверхность может служить объективным критерием оценки условий взаимодействия процессов газовыделения и структурообразования исследуемой ячеистой смеси.

Результаты испытаний составов позволили установить оптимальный интервал В/Т отношения, который находился в пределах 0,12-0,17. Влияние водотвердого отношения оценивалось коэффициентом вспучивания, который определялся как отношение изменения объема смеси после вспучивания к начальному ее объему (высоте) в момент заливки в испытательную форму (модель).

Для выявления характера газовыделения через поверхность и его связи с коэффициентом вспучивания рассмотрим отдельные экспериментальные кривые (рис. 2), полученные для различных значений

водотвердого отношения. Общий анализ кривых позволяет выделить два этапа формирования смеси:

I – газовыделение во время вспучивания смеси;

II – прекращение газовыделения, стабилизация вспучивания смеси и начало ее твердения.

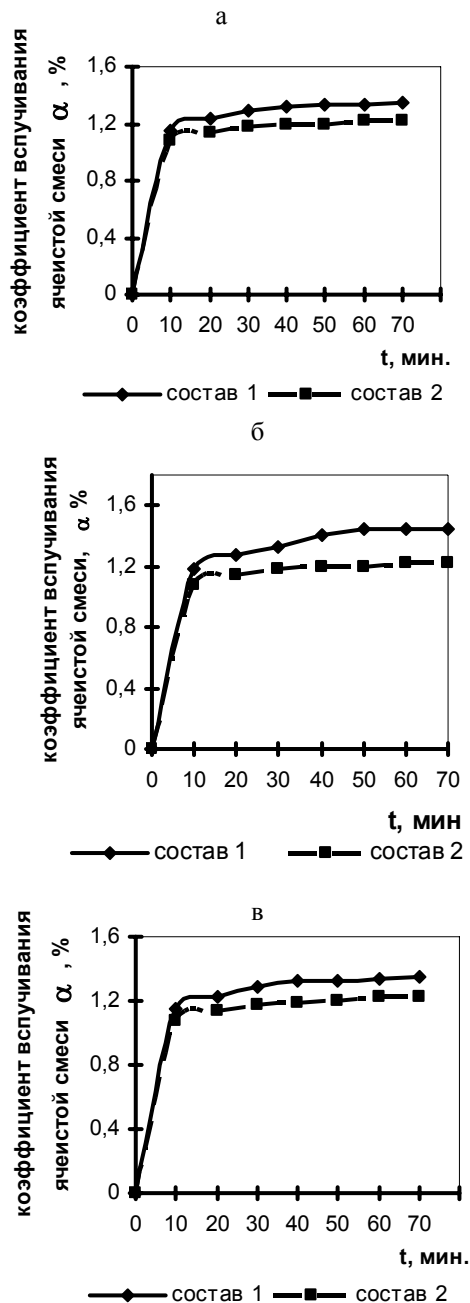


Рис. 2. Влияние водотвердого отношения В/Т на коэффициент вспучивания (а) ячеистой смеси при: а – 0,12; б – 0,15; в – 0,17; 1 – кинетика вспучивания состава 1; 2 – кинетика вспучивания состава 2

Анализ приведенных кривых позволяет сделать вывод, что для конкретного состава смеси и условий ее формирования установлено определенное оптимальное значение В/Т, при котором наблюдаются максимальный прирост объема вспучивающейся массы, минимальное газовыделение через поверхность и

отсутствие осадки. По величине интервала оптимального значения V/T можно судить о технологичности используемой смеси. Исследуемые составы смесей характеризуются очень узким интервалом оптимального V/T (0,12-0,17), следовательно, можно сказать, что оно не обеспечивает формирование высококачественной ячеистой смеси, так как увеличение или уменьшение V/T приводит к быстрой стабилизации процесса вспучивания, что и вызывает разрушение структуры материала и снижение его прочности.

При низком содержании воды в смеси ($V/T = 0,12$; рис. 2, а) во время вспучивания не наблюдается интенсивное газовыделение через поверхность, что способствует оседанию ее, и процесс вспучивания прекращается.

На первом этапе существенное газовыделение можно объяснить тем, что в процессе формирования пористой структуры из-за пониженного количества воды в межпоровых стенках они недостаточно эластичны и разрушаются от газового давления в порах, а по образовавшимся капиллярам газ интенсивно выходит через поверхность. Но на первом этапе скорость газообразования внутри смеси значительно превосходит скорость газовыделения через поверхность, что и обуславливает прирост вспучивающейся смеси.

На втором этапе наблюдается резкое увеличение скорости газовыделения, которое приостанавливает процесс вспучивания и способствует ее стабилизации. Анализ этого процесса показывает, что на данном отрезке кривой скорость газовыделения через поверхность значительно превышает скорость газообразования. Активизация процесса газовыделения на втором этапе вызывает значительные разрушения структуры ячеистого материала, что ведет к стабилизации процесса вспучивания и начало ее твердения.

Анализ процесса при верхнем пределе содержания воды в смеси (при $V/T = 0,17$; рис. 2, в) показал, что резкое газовыделение через поверхность наблюдается в начале процесса вспучивания. Незначительное газовыделение на первом этапе указывает на то, что данное количество воды по сравнению с $V/T = 12$ улучшает процесс формирования пористой структуры смеси. Это можно объяснить тем, что при большом количестве воды смесь имеет незначительную вязкость и создаются благоприятные условия для всплытия газовых пузырьков, которые, достигнув поверхности, лопаются. По мере протекания процесса вспучивания вязкость повышается и газовыделение через поверхность снижается.

На рис. 2, б представлены кривые вспучивания поверхности при оптимальном количестве воды затворения $V/T = 0,15$. Как видно из рис. 2, б, объем образовавшегося газа и выделение его через поверхность увеличилось на 10-15%, что позволяет интенсифицировать в начальный период процесс вспучивания смеси. Данное количество воды обеспечивает совпадение процессов вспучивания и структурообразования, влияющие на качество ячеистого материала

(рис. 3, а), в то время как при $V/T = 0,12$ материал получается со сплюснутыми порами (рис. 3, б) и в результате происходит осадка малопрочного сырца.

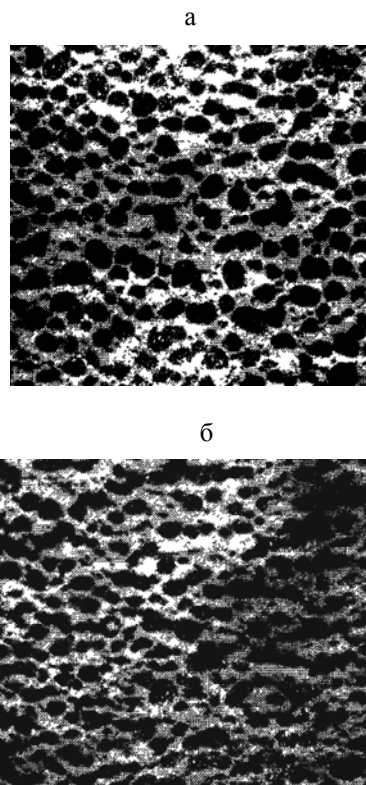


Рис. 3. Структура твердеющей ячеистой смеси при: а – $V/T = 0,15$; б – $V/T = 0,12$

Анализ кривых кинетики вспучивания смеси за счет газовыделения через поверхность указывает на то, что по динамике газовыделений и объему выделившегося газа через поверхность вспучивающейся смеси нами правильно обосновано оптимальное количество воды для затворения ее.

Выводы. Разработанная методика и применяемая аппаратура позволяют глубоко изучать влияние различных технологических факторов на процесс формирования пористой структуры во время вспучивания ячеистой смеси. По результатам исследований установлено, что формирование структуры ячеистой смеси при газовыделении через поверхность протекает в два этапа:

- 1 этап – время интенсивного вспучивания;
- 2 этап – прекращение вспучивания смеси и ее твердение.

Отсутствие промежуточного этапа вспучивания при газовыделении через поверхность указывает о правильном подходе к обоснованию нами рациональных соотношений компонентов входящих в состав ячеистой смеси. Согласно обоснованным соотношениям компонентов в составе смеси предоставляется возможность получить требуемые физико-механические характеристики забоечной смеси для шпуровых и скважинных зарядов, имеющее важное

значение в решении задач взрывного дела, направленные на повышение эффективности управления взрывным разрушением крепких напряженных горных пород при проведении выработок в глубоких шахтах.

Список литературы

1. Ищенко К.С. Повышение эффективности взрывной проходки выработок на рудных шахтах / К.С. Ищенко, В.Н. Коновал // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 6. – С. 68-70.
2. Ищенко К.С. Исследования разрушения твердых сред зарядами ВВ различных конструкций / К.С. Ищенко // *Уголь Украины*. – 2007. – № 1. – С. 10-13.
3. Сапотницкий С.А. Использование сульфатных щелоков / Сапотницкий С.А. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 123 с.
4. Пат. № 86150 Україна МПК⁶ E21D 21/00, E21F 15/00 Сполука твердіючої суміші/ Булат А.Ф., Перепелиця В.Г, Іщенко К.С. та інш.; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. № а 2007 09708; замовл. 28.08.2007; надр. 25.03.2009. – Бюл. № 6.

5. Пат. № 86149 Україна МПК⁶ E21F 15/00, E21D 21/00. Сполука твердіючої суміші для набивки шпурових і свердловинних зарядів / Булат А.Ф., Перепелиця В.Г, Іщенко К.С. та ін.; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. – № а 2007 09707; замовл. 28.08.2007; надр. 25.03.2009. – Бюл. № 6.
6. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий /Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский В.П. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
7. Ищенко К.С. Исследование особенностей физико-механических свойств расширяющейся твердеющей смеси (РТС-1) для забойки шпуровых и скважинных зарядов / К.С. Ищенко. *Ин-т геотехн. мех. АН Украины*. – Д., 1992. – 44 с. – Деп. в ВИНТИ 29.12.92, № 3695-В92.
8. А.с. № 494686 СССР, МКИ³ 3G01N 33/38. Прибор для измерения степени вспучивания ячеистых бетонных твердеющих смесей / Р.Я. Ахтямов, А.Н. Чернов и А.Н. Абызов (СССР). – №1967860/29-3; заявл. 02.11.73; опубл. 05.12.75. – Бюл. № 45.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.В. Соболевим 14.04.09

УДК 622.272.001.2

В.И. Пилюгин, А.В. Мартовицкий, В.В. Раскидкин

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Сформульовані принципи, що лежать в основі нових, більш детальних, підходів до проектування головних видів гірничих робіт, які враховують наявність аномальних зон у шахтному полі, що сформовані під впливом геотектонічних напружень.

Сформулированы основные принципы, лежащие в основе новых, более углубленных, подходов к проектированию основных видов горных работ, учитывающие наличие аномальных зон шахтного поля, сформированных под действием геотектонических напряжений.

Basic principles, which are underlaid new, more exact, approach near designing of basic types of minings are formulated. New principles take into account a presence in the field of mine of anomalous areas, formed under the action of geotectonic tensions.

Опыт отработки пологих угольных пластов на шахтах Донбасса показал, что геомеханические и газодинамические проявления в выработках неравномерно распределяются по площади шахтных полей и участков, т.е. характеризуются четко выраженной зональностью. Существуют области, в которых поведение массива при ведении горных работ довольно часто приводит к различным осложнениям, а иногда и к аварийным ситуациям. Вмещающие породы здесь характеризуются низкой устойчивостью, активно смещаются в полость выработок, создают высокие нагрузки на крепление, интенсивно разрушаются и деформируются. Чаше всего это происходит в зонах сложного залегания пластов и вмещающих пород: складках, перегибах,

флексурах и других, в том числе и в разрывных геологических нарушениях. Площадь таких участков «аномального» поведения массива довольно невелика и составляет по разным оценкам от 2-3 до 10% общей площади шахтопластов.

Зоны с относительно благоприятными условиями разработки, как правило, располагаются на участках плоской (моноклиальной) формы залегания пород. Они характеризуются предсказуемым поведением массива в выработках: удовлетворительной устойчивостью пород на обнажениях, относительно низким уровнем конвергенции, отсутствием геодинамических и газодинамических проявлений при ведении горных работ.

Действующие в настоящее время в угледобывающей отрасли Украины нормативные правила и инструкции по проектированию основных технологических процессов [1-3] в основном сориентированы на относительно благоприятные горно-геологические условия и практически не учитывают наличие аномальных зон, обусловленных изменениями залегания горного массива. Основные подходы и методы проектирования уже многие десятилетия остаются неизменными. При этом они базируются на ряде известных и, на наш взгляд, несколько догматичных принципах, требующих переосмысления. Отметим главные из них.

Основным недостатком действующих нормативов является постулат о преобладании в осадочном горном массиве равномерно распределенных в его объеме гравитационных напряжений. Считается, что их максимальная компонента всегда направлена вертикально и по величине равна весу столба пород, который расположен над рассматриваемой точкой. Значения горизонтальных напряжений, как правило, меньше вертикальных и составляют некоторую часть от них. Тектоническое поле напряжений, особенно в условиях отсутствия в массиве разрывных нарушений, при проектировании чаще всего игнорируется и не учитывается. Такие представления о напряженном состоянии нетронутого массива весьма примитивны и однозначно связывают условия разработки с глубиной ведения горных работ. При этом они полностью отрицают влияние довольно многообразных тектонических факторов на возникновение и протекание геомеханических и газодинамических явлений в выработках.

Существование в земной коре мощного поля тектонических напряжений в настоящее время не вызывает сомнений как у отечественных, так и у зарубежных исследователей [4, 5]. Вместе с тем, бытует точка зрения, что это не распространяется на осадочные массивы. Экспериментами на образцах установлено, что осадочные породы не способны концентрировать и сохранять долгое время остаточные напряжения ввиду наличия релаксационных процессов. Вследствие этого на угольных месторождениях уровень гравитационных напряжений, якобы, всегда выше тектонических. Такое утверждение, возможно, правомерно для большей площади залежей. Однако с ним нельзя согласиться применительно к зонам сложного залегания угольных пластов.

В настоящее время накоплено достаточно большое количество экспериментальных данных, доказывающих существование в отдельных зонах осадочного массива Донбасса высоких тектонических напряжений. Так, по данным Н.Е. Волошина, примерно 30% натурных замеров величин главных компонент напряжений в нетронутом массиве глубоких шахт Донбасса показывают существенное превышение горизонтальной (тектонической) составляющей над вертикальной (гравитационной) [6]. Преобладание

горизонтальной компоненты напряжений над вертикальной экспериментально установлено сотрудниками ИГТМ НАН Украины в условиях пликативно нарушенного участка пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько [7]. Высокие экспериментально измеренные различными методами величины тектонических (горизонтальных) напряжений в осадочных породах угольных шахт Донбасса неоднократно отмечались в трудах известных исследователей Г.А. Галушко, В.С. Вереды и многих других.

Приведенные данные хорошо согласуются с результатами измерений, которые были получены в условиях более сложного по тектоническому строению Кузнецкого угольного бассейна [8]. Исследованиями С.А. Батугина доказано, что повсеместно используемая гипотеза А.Н. Динника соответствует всего лишь 25% всех измерений напряжений в массиве. При этом главные сжимающие напряжения в большинстве случаев (80%) имеют горизонтальную направленность и по величине в 1,5-6,0 раз превышают вертикальные.

Таким образом, в процессе практического проектирования технологий угледобычи необходимо исходить из следующего принципа: **природное напряженное состояние нетронутого осадочного массива неравномерно распределено по площади шахтопластов и имеет аномалии, в которых преобладает горизонтально направленное тектоническое поле напряжений.**

Вторым крупным недостатком действующих нормативов является недостаточный учет формы залегания массива и, в частности, имеющейся в нем пликативной нарушенности при прогнозировании проявлений горного давления. Так, в «Руководстве...» по управлению кровлей [2] и в «Правилах...» по отработке пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа [3], складки и другие, не имеющие разрыва сплошности пород, геологические нарушения даже не упоминаются как возможные влияющие на проявления горного давления факторы. В «Указаниях...» [1] по охране подготовительных выработок при прогнозировании конвергенции их контура рекомендуется учитывать только складки с радиусом кривизны менее 300 м. Такие положения нормативных документов противоречат практическому опыту ведения горных работ на угольных шахтах и результатам ранее выполненных исследований.

В наибольшей степени форма залегания горного массива влияет на частоту и интенсивность газодинамических проявлений в выработках. Впервые это было показано в работах А.Я. Бовсуновской [9]. Она установила, что зональность выбросов угля на шахтах крутого падения обусловлена вторичной складчатостью разрабатываемых угольных пластов и вмещающих пород. Наиболее опасными являются два типа складок: длиной от 1,0 до 3,0 км и от 500 до 800 м с изгибом 0,02-0,05. Известный специалист по

проблеме выбросов М.И. Большинский в своей монографии [10] отмечал, что «связь выбросов пород и газа с антиклинальными и синклиналиными мелкоамплитудными складками указывает на то, что площадь их развития является наиболее вероятным местом возникновения этих газодинамических проявлений». Приуроченность особо выбросоопасных участков пологих угольных пластов Донбасса к зонам сложного залегания установлена в работе [11]. Применительно к условиям шахт Кузбасса подобное явление раскрыто также в трудах П.В. Егорова [12].

Природная форма залегания массива также во многом предопределяет поведение пород непосредственной кровли в очистных забоях. Исследованиями [11] установлено, что при отработке пликвативно нарушенных участков шахтопластов происходит уменьшение категории устойчивости вмещающих пород без изменения их мощности и литологического состава. При этом выявлена прямая линейная зависимость относительной площади обрушений пород от показателя тектонического формоизменения массива, интегрально отражающего сложность залегания в рассматриваемой зоне. Величина этого показателя при прочих равных условиях существенно влияет также и на скорость конвергенции пластовых подготовительных выработок, поддерживаемых в нетронутым горном массиве при обратном порядке отработки запасов [11].

Приведенные данные дают основание сформулировать второй новый принцип проектирования: **природные аномальные зоны приурочены к участкам сложного залегания пласта и вмещающих пород, которые сформированы в результате изгиба породных слоев. Ведение горных работ в этих зонах сопряжено с высоким уровнем геомеханических и газодинамических проявлений в выработках. В настоящее время эта закономерность не учтена действующими нормами проектирования.**

Наличие в нетронутым горном массиве зонально действующего тектонического поля напряжений и усложнение условий ведения горных работ в пликвативно нарушенных участках шахтных полей связаны между собой как философские категории «причина» и «следствие». Эта связь вытекает из общеизвестных закономерностей генезиса угольных месторождений. Согласно им угольные пласты в период осадконакопления располагались преимущественно горизонтальных или слабонаклонных плоских поверхностях. Плоская (моноклиналиная) форма залегания массива сохранялась какое-то время и после его погружения в земную кору. Однако затем, в процессе метаморфизма углей и вмещающих пород, произошли мощные тектонические подвижки и неравномерные поднятия (опускания) массива. Они и привели к изменению первоначальной формы осадочной залежи и формированию ее конечного (на момент начала разработки) природного

напряженного состояния. Таким образом, современная форма залегания массива является результатом тектонического развития земной коры и отражает все его природные деформации, накопленные с периода формирования. По этим деформациям, как известно, можно реконструировать и определять причину их возникновения – уровень действующих тектонических напряжений.

Связь природной формы залегания горного массива с его напряженным состоянием, обуславливающая зональность вредных проявлений в выработках, является довольно сложной и, по нашему мнению, не может однозначно отражаться моделями идеальных сплошных сред. Здесь можно выделить две основные причины. Во-первых, большое влияние на нее оказывает фактор времени и связанные с ним процессы релаксации напряжений в горном массиве в процессе и после формирования его тектонической нарушенности. Они способствуют «сглаживанию» и выравниванию аномалий естественного поля напряжений. Закономерности этого процесса в настоящее время не известны, а, значит, они не поддаются корректному численному учету при проектировании.

Вторая группа факторов, предопределяющих сложный и вероятностный характер учета зональности – это параметры прочностных и деформационных свойств нетронутым массива. В силу неравномерного распределения природной и технологической нарушенности пород они изменяются в довольно широком диапазоне значений, что на практике выявить и учесть весьма сложно. Это еще более усложняет процесс проектирования горных работ в аномальных зонах и вынуждает искать принципиально новые способы прогнозирования их вредного влияния.

Суть предлагаемого нами подхода состоит в одновременном косвенном учете уровня действующих в массиве тектонических напряжений и изменения свойств пород по форме залегания массива. Он основан на следующих основных положениях.

Известно, что физико-механические свойства горных пород связаны с уровнем напряженного состояния массива. Эта связь заключается в том, что при возникновении предельных нагрузок происходят необратимые деформации и разрушение пород, т. е. качественное изменение (уменьшение) их сопротивляемости внешним воздействиям. Одновременно процесс разрушения способствует общему снижению напряжений и их выравниванию в области разрушения. В зонах пликвативных тектонических нарушений в результате изгиба породных слоев формируются аномалии касательных напряжений. Если их значения превышают пределы прочности, то породы разрушаются с образованием систем микро- и макротрещин. Прочностные свойства и действующие напряжения при этом снижаются. Таким образом, природные аномальные зоны по месторасположению будут всегда приурочены к областям высоких тектонических

деформаций массива, произошедших до момента разработки. Этот вывод очень важен, так как природные деформации можно довольно точно определять и даже прогнозировать в процессе разработки шахтопласта.

В качестве критерия (показателя) степени тектонического формоизменения массива в работе [11] предложено использовать следующий показатель:

$$K_0 = \sqrt{K_1^2 + K_3^2}, \quad (1)$$

где K_1 и K_3 – главные кривизны поверхности залегания пласта и вмещающих пород в рассматриваемой точке массива, m^{-1} .

Исследованиями установлено, что величина критерия K_0 косвенно отражает величину максимальных изгибающих напряжений, действующих в пликативно нарушенных участках горного массива в плоскости напластования пород. Значения показателя K_0 коррелируют с важнейшими геомеханическими параметрами проявлений горного давления: скоростью смещений на контуре пластовых подготовительных выработок и относительной площадью обрушений пород кровли. При отработке пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа, с ростом величины критерия K_0 отмечается увеличение вероятности возникновения газодинамических явлений при ведении горных работ. При этом показатель K_0 является величиной скалярной и инвариантной, т. е. не зависящей от выбранной в пределах площади шахтного поля системы координат. Таким образом, **карту распределения показателя геотектонического формоизменения K_0 можно использовать в качестве основы для определения месторасположения природных аномальных зон в пределах площади шахтопластов при проектировании технологических процессов угледобычи (принцип 3).**

Покажем реализацию описанных принципов на примере решения основных задач проектирования.

Определение месторасположения особо выбросоопасных участков разрабатываемых шахтопластов предлагается осуществлять следующим образом.

На первом этапе по данным геологоразведки и маркшейдерским замерам в пластовых подготовительных выработках известными методами строится трехмерная модель поверхности залегания разрабатываемого угольного пласта и его вмещающих пород. Затем эта поверхность преобразовывается в карту распределения по площади шахтного поля показателя тектонического формоизменения K_0 . Кроме изолиний критерия на карту также наносятся границы выпуклых, вогнутых и седлообразных зон залегания массива и отмечаются места газодинамических явлений, имевших место при ведении горных работ. Пример такой карты приведен на рис. 1.

Особо опасные по выбросам участки приурочены к пликативно нарушенным областям шахтного поля,

т.е. к природным аномальным зонам. Так, из 29 газодинамических явлений, имевших место на шахте им. В.М. Бажанова за весь период ведения горных работ с 1963 г., 24 (89%) являлись «групповыми». Они «кучно» располагались по площади шахтопласта и произошли в зонах с аномально высокими значениями градиента K_0 14 выбросов произошли в вогнутой зоне у Ново-Чайкинского надвига при $K_0 > 0,35 \text{ км}^{-1}$. Остальные 10 – в районе западной границы поля вблизи Безыменного и Григорьевского надвигов на выпуклых участках шахтопластов, где значения критерия составляли $K_0 > 0,25 \text{ км}^{-1}$ (рис. 1). Оба особо выбросоопасных участка располагались на относительно небольших для шахты глубинах. Это позволяет утверждать, что главной причиной их формирования является высокий уровень тектонических напряжений в зонах пликативного прогиба массива. При этом значения показателя $K_0 > 0,25 \text{ км}^{-1}$ для выпуклых областей и $K_0 > 0,35 \text{ км}^{-1}$ для вогнутых можно считать опасными и прогнозировать по соответствующим изолиниям K_0 границы особо выбросоопасных участков на неотработанных участках шахтного поля.

Описанный подход детально обоснован в работе [11]. Он может рассматриваться как дополнение к п.п. 4.2.3 и 5.3.11 «Правил...» [3], которые регламентирует порядок отнесения участков шахтопластов к особо выбросоопасным. Реализация подхода защищена патентами Украины и России [13, 14].

Проектирование паспортов крепления и управления кровлей в очистных забоях осуществляется в целом аналогично.

На первом этапе строится карта распределения показателя K_0 в пределах выемочного столба проектируемой лавы. Затем определяется месторасположение природных аномальных зон. Под ними в данном случае понимаются участки выемочного поля лавы, в которых уровень тектонических напряжений превышает предел длительной прочности пород непосредственной кровли и следует ожидать их разрушения. Для этого рассчитывается опасное значение критерия K_{0p} по известным зависимостям [11]:

$$K_{0p} = \frac{2}{Eh} \cdot \left(\sigma^\infty - \frac{\nu}{1-\nu} \gamma H \right) \cdot (1-\nu^2), \quad (2)$$

где E и ν – модули упругости пород, МПа; h – мощность слоя непосредственной кровли, м; σ^∞ – предел длительной прочности пород, МПа.

Если в рассматриваемой точке величина показателя K_0 превышает опасное значение K_{0p} , то еще до ведения очистных работ породы будут разрушены под действием тектонических напряжений и, следовательно, они потеряют свою устойчивость. При составлении паспорта крепления и управления кровлей наличие аномальной зоны в пределах площади выемочного поля можно учесть путем уменьшения «литологической» категории устойчивости

нижнего слоя пород кровли. Например, категорию кровли B_3 изменить на B_2 . Такой принцип заложен

в основу нормативного учета аномальных зон техногенного происхождения [2].

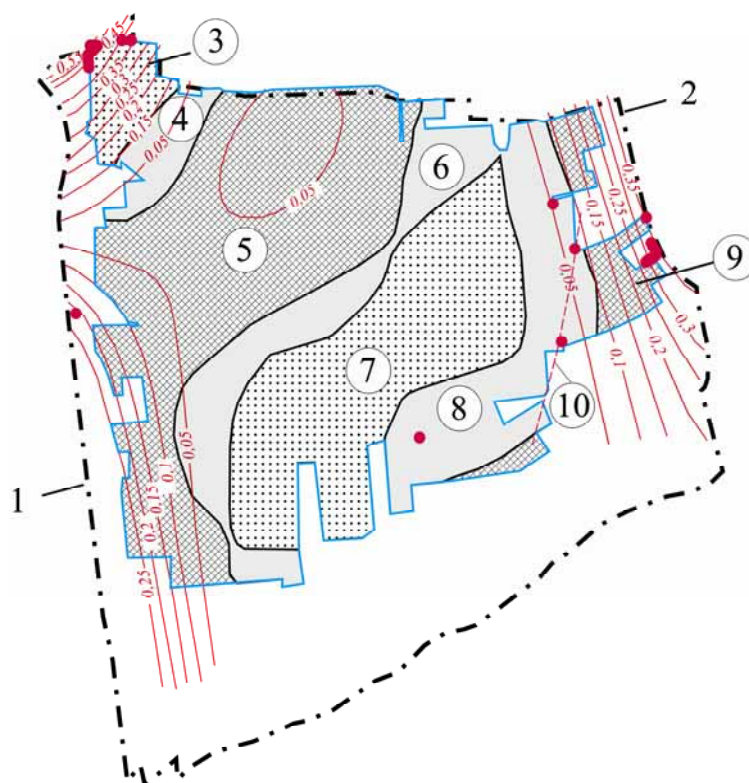


Рис. 1. Карта изменения формы залегания шахтопласта t_3 ш. им. В.М. Бажанова (цифры на изолиниях показывают значения критерия K_0 , точками обозначены места ГДЯ): 1 и 2 – границы шахтного поля (восточная и западная); 3, 7 – зоны вогнутой формы; 4, 6, 8 – седлообразные зоны; 5, 9 – вытуклые зоны; 10 – малоамплитудное разрывное нарушение (сдвиг)

Пример построений для условий 12-й западной лавы пласта l_1 ш. им. А.Ф. Засядько представлен на рис. 2, где аномальные зоны показаны штриховкой, а буквами обозначены категории устойчивости.

Описанный выше принцип проектирования паспортов крепления и управления кровлей очистных забоев угольных шахт заложен в основу нового способа прогнозирования нарушенности пород непосредственной кровли [15].

Проектирование паспортов проведения пластовых подготовительных выработок осуществляется на основе нормативной методики прогноза смещений [3] путем корректировки расчетной глубины их расположения H_p в природных аномальных зонах пликативно нарушенных угольных пластов. При этом можно использовать следующий разработанный нами подход [11].

На первом этапе строится карта изменения показателя тектонического формоизменения K_0 по трассе проведения будущей подготовительной выработки, аналогичная карте на рис. 1. Затем на основе шахтных инструментальных замеров в пластовых выработках для условий обрабатываемого пласта строится график зависимости скорости конвергенции их контура от критерия залегания $v_0 = f(K_0)$. Эта зависимость с использованием

номограммы (рис. 32 из [1]) легко преобразуется в связь коэффициента напряженного состояния с показателем тектонического формоизменения $\kappa = f(K_0)$, которая приведена на рис. 3. Ее график позволяет корректировать расчетную глубину разработки H_p и прогнозировать смещения контура выработок в природных аномальных зонах по известным формулам нормативной методики [1].

Приведенные выше примеры показывают возможности и преимущества использования новых принципов применительно к решению трех наиболее важных задач проектирования технологий ведения горных работ. Важно отметить, что они не только не противоречат действующим нормам проектирования, а и существенно развивают их в плане обеспечения более полного и даже «индивидуального» учета специфики залегания обрабатываемых шахтой угольных пластов. Применение предлагаемых подходов несколько усложняет методику проектирования. Однако при этом технологические требования к вопросам безопасности разработки запасов природных аномальных зон приводятся в соответствие с реальными горно-геологическими условиями конкретного шахтопласта. В целом это повышает достоверность и качество проектов, а также заложенных в них технологических решений.

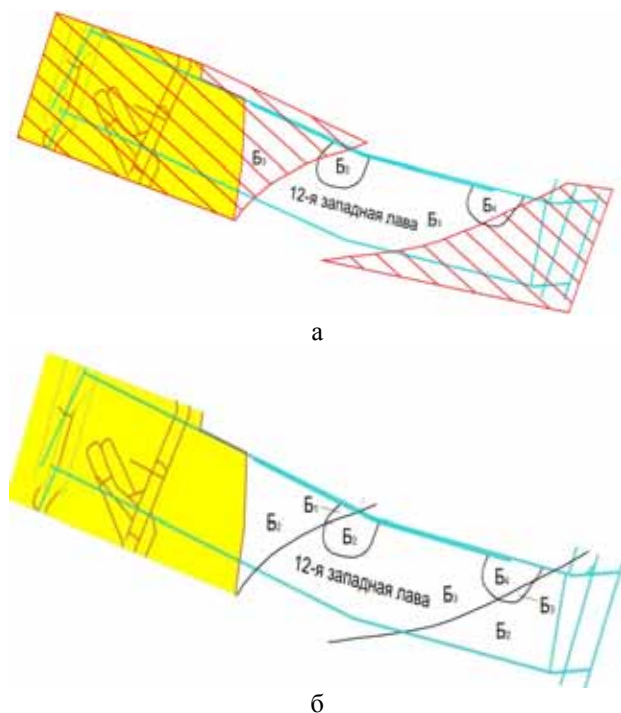


Рис. 2. Расположение аномальных зон (а) и прогнозный паспорт категорий устойчивости пород кровли 12-й западной лавы пласта I₁ ш. им. А.Ф. Засядько (б)

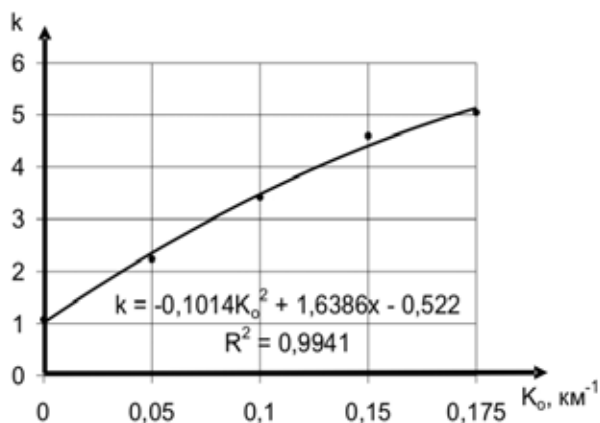


Рис. 3. Экспериментально установленная зависимость коэффициента напряженного состояния массива от показателя его тектонического формоизменения (пласт I₁, ш. им. А.Ф. Засядько)

Авторы уверены в целесообразности использования описанных принципов при проектировании технологий дегазации угольных пластов, а также при составлении паспортов проведения выработок с рамно-анкерным креплением. По этим направлениям в настоящее время ведутся дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1985. – 222 с.

2. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. – Д.: ДонУГИ, 2002. – 142 с.
3. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям. Стандарт Минуглепрома Украины. – К.: МакНИИ, 2005. – 225 с.
4. Виттке В. Механика скальных пород: Пер. с нем. – М.: Недра, 1990. – 439 с.
5. Распределение напряжений в горных массивах / Крупенников А.К., Филатов Н.А., Мусин Б.З., Барковский В.М. – М.: Недра, 1972. – 144 с.
6. Волошин Н.Е. Основы тектонофизической теории выбросов твердых ископаемых и пород в шахтах. – Донецк: СПД Дмитренко, 2007. – 64 с.
7. Результаты определения величины и направления главных напряжений в угленосном массиве пласта I₁ шахты им. А.Ф. Засядько методом локального гидравлического разрыва (ЛГР) / В.С. Кулинич, В.Г. Перепелица, И.А. Ефремов и др. // Геотехническая механика. – 2003. – № 44. – С. 156-164.
8. Батугин С.А. Напряженно-деформированное состояние нетронутого массива горных пород и его влияние на ведение горных работ: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. 05.15.11. – Новосибирск, 1974. – 40 с.
9. Бовсуновская А.Я. Связь внезапных выбросов угля и газа со вторичной складчатостью на крыльях Главной антиклинали // Уголь Украины. – 1968. – № 11. – С. 35-37.
10. Большинский М.И. Теория внезапных выбросов угля, пород и газа. – Донецк: ДонГТУ, 1993. – 139 с.
11. Пилюгин В.И. Геомеханические основы разработки пологих угольных пластов в природных аномальных зонах. – Донецк: ООО «Донецк-Вторма», 2007. – 368 с.
12. Метод регионального прогноза критической глубины проявления внезапных выбросов на шахтах Кузбасса / Егоров П.В., Кнуренко В.А., Кнуренко Л.М., Рудаков В.А. // Уголь. – 2002. – № 12. – С. 42-44.
13. Дек. пат. 11419 Україна, МПК Е 21 F 5/00. Спосіб прогнозування викидонебезпечності вугільних пластів / В.І. Пілюгин, М.П. Зборщик, О.П. Син та ін. – № И 200506747; заявл. 11.07.05; опубл. 15.12.05, Бюл. № 12.
14. Пат. 2005129527 Российская федерация, МПК Е 21 F 5/00. Способ прогнозирования выбросоопасности угольных пластов / В.И. Пилюгин, М.П. Зборщик, А.Ф. Син и др. – № А 2005129527/03, заявл. 2005.09.23; опубл. 2007.05.20, Бюл. №5.
15. Пат. 83986 Україна, МПК Е 21 F 5/00. Спосіб прогнозування зон нестійкого стану вмшуючих порід безпосередньої покрівлі вугільного пласта / В.І. Пілюгин, М.П. Зборщик, М.О. Ільшов та ін. – № А 200801981, заявл. 18.02.2008; опубл. 25.04.2008, Бюл. №16.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 29.04.09

РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНОМ УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ В ОКРЕСТНОСТИ ИСКУССТВЕННО СОЗДАННОЙ ПОЛОСТИ

Наведено результати аналітичних досліджень процесів виникнення і розповсюдження акустичних коливань в газонасиченому вуглепородному масиві навколо штучно створеної порожнини – гірничої виробки. Доведена наявність прямого зв'язку між інтенсивністю акустичного випромінювання і напруженнями, що діють в породному масиві.

Приведены результаты аналитических исследований процессов возникновения и распространения акустических колебаний в газонасыщенном углепородном массиве в окрестности искусственно созданной полости – горной выработки. Доказано наличие прямой связи между интенсивностью акустического излучения и действующими в породном массиве напряжениями.

The results of analytical researches of processes of origin and distribution of acoustic vibrations are resulted in a gas-saturated rock-coal mass in the vicinity of the artificially created cavity – mountain making. The presence of direct connection is well-proven between intensity of acoustic radiation and operating in rock mass tensions.

Введение. Углепородный массив – это неоднородная по своей структуре и свойствам весьма сложная и труднодоступная природная среда осадочного происхождения с ярко выраженными гетерогенными свойствами, возможностью диагностики которой существенно ограничены. Использование акустических колебаний в качестве информационного сигнала о нарушении углепородного массива, локализации в нем аномально напряженных зон и т.п., является на сегодняшний день наиболее перспективным и отработанным методом исследований. Это связано прежде всего с тем, что акустические волны по своим размерам сопоставимы именно с теми силовыми и структурными неоднородностями, которые содержатся в газонасыщенном углепородном массиве.

Постановка задачи. В настоящее время известен широкий класс так называемых структурно неоднородных сред, к которым следует отнести и горные породы [1], акустическая нелинейность которых демонстрирует аномально повышенный по сравнению с однородными материалами уровень, а структура характеризуется наличием различных включений типа зерен, пор, трещин и т.п., определяющих нелинейность свойств среды. Горные породы имеют сложную иерархическую структуру, элементы которой обладают как релаксационными, так и/или резонансными свойствами по отношению к распространению в них акустических колебаний. Известные работы, например [2], позволяют в обобщенном виде рассматривать поведение сред с подобной структурой в состояниях, близких к термодинамическому равновесию. Однако такой подход очень сложен и, что самое важное, не позволяет детально исследовать поведение горных пород в связи с тем, что на сегодняшний день все еще недостаточно исследованы акустические свойства их структурных элементов.

Механизм распространения акустических колебаний в напряженном углепородном массиве, содер-

жащем свободный и сорбированный метан, ослабленном выработкой включает в себя несколько последовательно-параллельно идущих процессов:

- распространение акустических волн по твердой фазе горной породы, сопровождающееся дифракцией;
- поглощение и последующее испускание фоновых структурными элементами породы;
- возникновение и/или развитие под действием акустических колебаний в породе трещин с их резонансным откликом на силовое воздействие.

Таким образом, **целью настоящей работы** является аналитическое исследование процессов прохождения акустических волн через участок напряженного структурно неоднородного углепородного массива, ослабленного искусственно созданной полостью – горной выработкой.

Основная часть. На рис. 1 схематически показан участок углепородного массива в окрестности горной выработки. Как показали исследования [3], источником акустических колебаний при разрушении угольного забоя в исследуемой области спектра является не непосредственно рабочий орган механизированного комплекса, бурильного оборудования и т.п., а собственно процесс разрушения горных пород, вызываемый этим технологическим воздействием. При этом по данным работы [4], отклик трещины на силовое воздействие должен быть резонансным.

Рассмотрим вначале более подробно процесс распространения акустических волн в угольном пласте. На рис. 2 схематически представлен процесс распространения акустических колебаний в угольном пласте, в котором выделены три характерные зоны влияния выработанного пространства на распределение напряжений впереди горной выработки. К ним относятся: 1 – зона отжима; 2 – зона опорного горного давления и 3 – зона начального напряженного состояния.

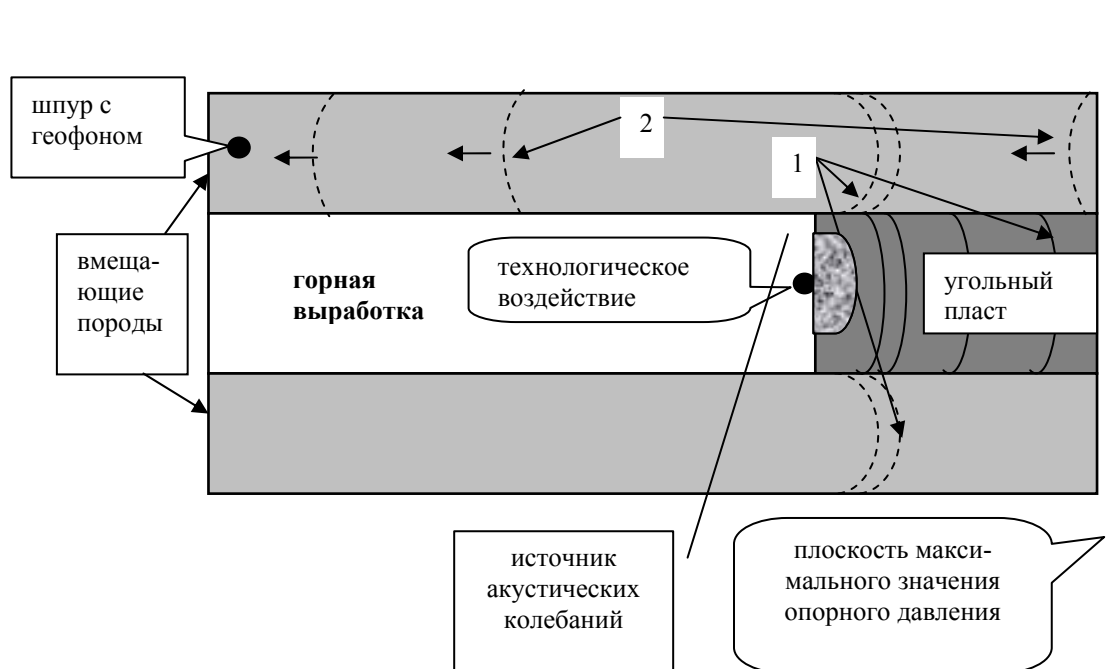


Рис. 1. Участок породного массива в окрестности горной выработки: 1 – акустические волны, распространяющиеся от источника колебаний; 2 – акустические волны, отраженные от плоскости максимального значения опорного давления

Они отделены друг от друга толстыми штрихпунктирными линиями. Следует отметить, что зона отжима состоит из наиболее трещиноватых, перемятых вследствие технологического воздействия и поэтому наименее структурно неоднородных горных пород. Поэтому в этой зоне наблюдается наибольший коэффициент затухания акустических колебаний. Зона опорного горного давления – наиболее «проблемный» участок породного массива вблизи выработки. Она является переходной между зоной начального напряженного состояния и зоной отжима. Это связано с тем, что в данной области породного массива его структура претерпевает силовые перегрузки от действия повышенного горного давления и деформационные смещения от изгиба основной кровли. Вследствие этого, наряду с уже имевшими место в нетронутом массиве неоднородностями структуры здесь возникают так называемые наведенные неоднородности (вторичные неоднородности), вызванные технологическим воздействием на призабойную область и связанными с этим воздействием деформационными перемещениями отдельных частей (блоков) в пределах этой зоны. Вследствие наличия здесь повышенных по сравнению с нетронутом породным массивом механических напряжений, неоднородности структуры приобретают здесь в основном функции силовых неоднородностей, имеющих ярко выраженные аномальные по отношению к другим зонами физико-механические (в данном случае – акустические свойства) и могущих при сравнительно небольшом внешнем силовом воздействии и соответствующих благоприятных условиях реализовать накопленную потенциальную энергию упругой деформации. Зона начального напряженного состояния характери-

зуется наличием первоначального набора структурных и силовых неоднородностей, которые имели место в нетронутом массиве.

Слабым пунктиром в зоне начального напряженного состояния показана волна, прошедшая через плоскость максимума опорного давления и уходящая на бесконечность. Первые две зоны характеризуются наибольшей неоднородностью структуры, вызванной воздействием технологического оборудования. Акустические колебания распространяются от источника колебаний (зоны первичного разрушения пород в призабойной области) по угольному пласту. Последний можно приблизительно рассматривать как акустический волновод, ограниченный сверху и снизу кровлей и почвой выработки, состоящих соответственно из пород, значительно отличающимися по физико-механическим свойствам от аналогичных свойств угольного пласта. Степень неидеальности границ отражающих поверхностей такого волновода определяется существенным различием их коэффициентов крепости, которое в предельном случае может составлять около 10 раз [3].

В работе [5] применительно к процессам затухания ультразвука, обусловленного рассеянием в поликристаллических средах, приведены следующие результаты. Волна, падающая на неоднородность в среде, рассеивается. Возмущенное поле внутри неоднородности отличается от падающей волны; это различие порождает другие волны вне неоднородности. Рассеянные волны зависят от характеристик распространения внутри и вне неоднородности, типа падающей волны и от граничных условий на поверхности неоднородности.

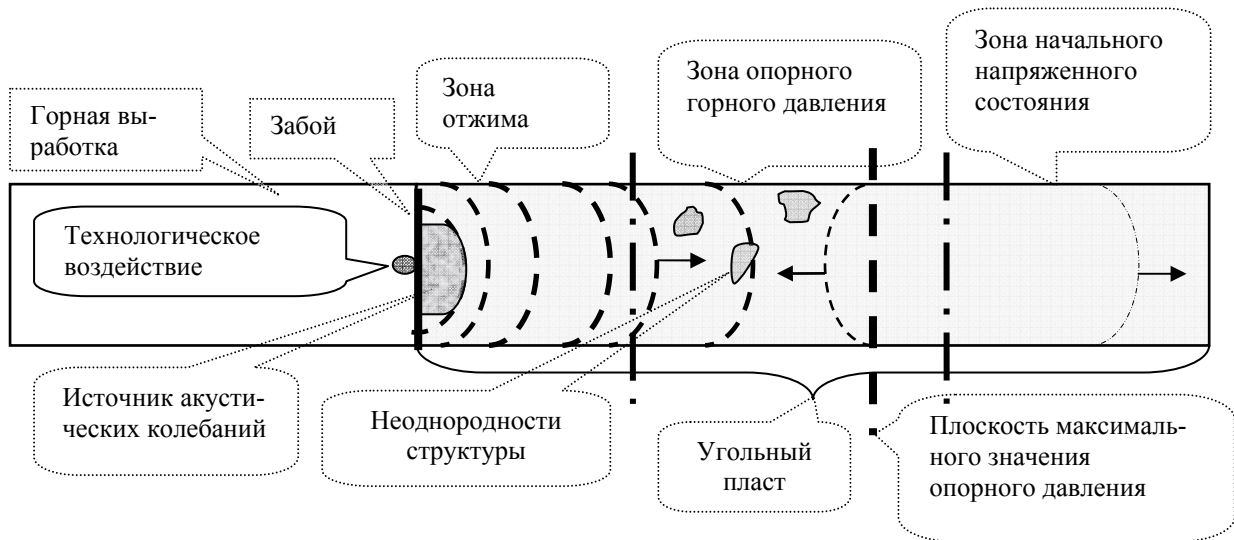


Рис. 2. Процесс распространения акустических колебаний в угольном пласте

Граничными условиями для упругих волн являются непрерывность напряжения и смещения на границе (что вполне применимо к описанию НДС породного массива). После того, как найдена рассеянная волна, переносимая ею мощность может быть рассчитана путем интегрирования плотности потока излучения по сфере вдали от неоднородности. Рассеянная мощность является частью падающей мощности; для единичного объема, содержащего N независимо рассеивающих неоднородностей (без учета многократного рассеяния), эта часть будет в N раз больше, и определяет скорость затухания падающей волны.

Угольный пласт в этом случае будем считать распределенной системой, в которой бегут волны, отражающиеся от неоднородностей. Это трактовка Даламбера особенно удобная для описания процессов в неограниченных системах и в системах, длина которых значительно больше длины волны. Для простоты рассмотрим одномерную распределенную систему: «угольный пласт – передающая линия». С определенными допущениями такая постановка задачи возможна [6].

Для рассмотрения этой задачи рис. 2 представлен в несколько измененном виде (рис. 3).

Предположим, что при $x = 0$ параметры системы испытывают скачкообразное изменение. Тогда, для волны, падающей на плоскость максимума опорного давления, имеем:

$$u_{i\ddot{a}\ddot{a}} = A_1 \exp[j(\omega t - k_1 x)] \cdot \psi_1,$$

а для волны, отраженной от нее:

$$u_{i\ddot{o}\ddot{d}} = A_2 \exp[j(\omega t + k_1 x + \varphi)] \cdot \psi_2,$$

где k_1 – волновое число в линии 1; ψ_1, ψ_2 – функционалы, определяющие влияние на акустические процессы в породном массиве свободного и сорбированного угольным веществом метана, и процесса его освобождения из сорбированного в свободное состояние при разгрузке породного массива.

Кроме того, существует прошедшая волна A_3 , распространяющаяся в линии 2 за плоскость максимума опорного горного давления и далее в линию 3, которую мы считаем уходящей в бесконечность, т.е. ее энергия принимается безвозвратно утерянной. Для нее справедливо выражение:

$$u_{i\ddot{o}\ddot{d}\ddot{d}\ddot{i}} = A_3 \exp[j(\omega t - k_2 x)] \cdot \psi_3,$$

где k_2 – волновое число в линии 2; ψ_3 – функционал, определяющий влияние газовой составляющей на акустические процессы в породном массиве.

Тогда исходную волну $u(x, t)$ можно представить в виде суперпозиции падающей, отраженной и прошедшей волн:

$$u(x, t) = A_1 \exp[j(\omega t - k_1 x)] \cdot \psi_1 + A_2 \exp[j(\omega t + k_1 x + \varphi)] \cdot \psi_2 + A_3 \exp[j(\omega t - k_2 x)] \cdot \psi_3,$$

где φ – сдвиг фаз при отражении.

Следует отметить, что в настоящее время практически не существует исследований, посвященных изучению влияния на процессы возникновения и распространения акустических колебаний в породном массиве находящегося в нем свободного и сорбированного метана и, в особенности, процесса его перехода из связанного в свободное состояние.

Так как процессы распространения акустических колебаний, в общем случае, подчиняются законам волновой оптики, то с энергетической точки зрения распределение энергии акустических колебаний \dot{Y} , распространяющихся от источника, выглядит следующим образом:

$$\dot{Y} = \dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3,$$

где \dot{Y}_1 – энергия акустических колебаний, поглощенная породным массивом на участке длины L (см. рис. 3); \dot{Y}_2 – энергия акустических колебаний, отраженная от плоскости максимума опорного давления и \dot{Y}_3 – энергия акустических колебаний, прошедшая через плоскость максимума опорного давления.

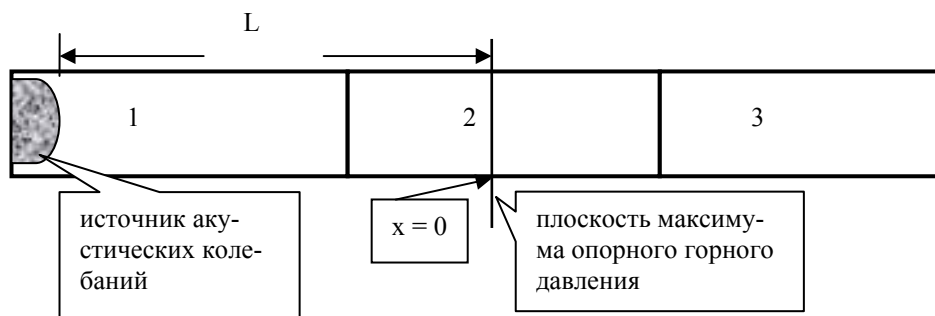


Рис. 3. Схема передающей линии (угольного пласта) со скачкообразным изменением параметров: 1 – зона отжима; 2 – зона опорного давления; 3 – зона начального напряженного состояния

По данным работ [5, 7], исходя из основ динамической микромеханики, при образовании структурного нарушения (разрыва сплошности) излучается (или поглощается) импульс энергии, которую можно представить суммой элементарных квантов с энергией:

$$\dot{Y} = N \cdot h \cdot \nu \cdot f_V, \quad (1)$$

где N – количество элементарных разрывов структуры (в нашем случае – число трещин); h – постоянная Планка; ν – частота излучения; f_V – функция, определяющая влияние на акустические процессы в породном массиве свободного и сорбированного угольным веществом метана, и процесса его освобождения из сорбированного в свободное состояние при разгрузке породного массива, исходя из физических представлений, наличие газа в угольном пласте, по-видимому, будет ослаблять (демпфировать) акустические процессы, т.е. $0 < f_V \leq 1$.

Разрыв сплошности происходит, если в зоне разрыва в соответствии с критерием Гриффитса действует импульс напряжений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma_0}{\pi \cdot N \cdot a}} = \sqrt{\frac{E \cdot h}{\pi \cdot a \cdot \tau}},$$

где E – модуль упругости; τ – длительность импульса; γ_0 – поверхностная энергия, $\gamma_0 = \frac{c}{\pi \cdot N^2 a}$; a – характерный размер возникающих трещин при разрушении горных пород.

Частоту излучения можно найти следующим образом:

$$\nu = \frac{c}{\pi \cdot N^2 \cdot a}, \quad (2)$$

где c – скорость акустических волн в породном массиве.

Подставляя (2) в (1), получаем выражение для энергии акустического излучения:

$$\dot{Y} = \frac{h \cdot \nu \cdot c}{N \cdot a} \cdot f_V.$$

Воспользовавшись результатами [8], мощность эмиссии акустических волн может быть описана следующим выражением:

$$W = \dot{Y} \cdot N.$$

Мощность упругого деформирования, которую мы принимаем равной мощности акустического излучения, в момент времени, определяемый временем деформирования (длительностью излучения), характеризуется величинами действующих в объеме деформирования напряжений [8]:

$$W = \frac{2(1-\mu)}{G \cdot \tau} \sigma^2 \cdot a^3;$$

Тогда:

$$N = \frac{2(1-\mu)\sigma^2 a^3}{G \cdot h}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{N \cdot G \cdot h}{2(1-\mu)a^3}};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma_0}{\pi \cdot N \cdot a}} = \sqrt{\frac{E \cdot h}{\pi \cdot a \cdot \tau}},$$

где E – модуль упругости; τ – длительность импульса; γ_0 – поверхностная энергия, $\gamma_0 = \frac{c}{\pi \cdot N^2 a}$; a – характерный размер возникающих трещин при разрушении горных пород.

Мощность акустического излучения может быть определена по амплитуде и длительности импульса для дискретного спектра [9, 10]:

$$W = \sum_{i=0}^{\infty} (A_i)^2 \tau_i = \frac{1}{2} \rho \cdot u_i^2 \omega_{ij}^2, \quad (3)$$

где u_i – смещения; ω_{ij} – тензор вращения.

Для непрерывного спектра (3) принимает вид:

$$W = \int_0^{\infty} A(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} u_0 du \int_0^{\infty} \omega d\omega,$$

где под u_0 подразумевается величина начальных смещений.

В соответствии с [7], при импульсном воздействии (удар, вибрация, взрыв и т.п.), по массиву будет распространяться импульс, который, взаимодействуя с локальными полями напряжений и аномальными зонами, приведет к их изменению. Достаточные условия изменений определенного уровня формируются такими характеристиками импульсного воздействия, как длительность, амплитуда, плотность воздействия и т.п. Существует определенное взаимоотношение между импульсом и спектром взаимодействующих с ним трещин и дефектов в материале. Как

показано в [7], короткие импульсы с высоким пиком напряжений могут воздействовать преимущественно только на короткие дефекты, длинный же импульс равной энергии с низким пиком напряжений может воздействовать преимущественно на относительно длинные трещины. Практически это выражается в следующем [7]: короткий скачок (импульс) может измельчать среду и быстро затухнуть, длинный же импульс вызывает менее густую сеть трещин, но проникнуть может гораздо глубже и в итоге привести к десорбции газа, разгрузке, и возможно – реализации газодинамического явления (ГДЯ).

В настоящее время установлено, что волна напряжений может способствовать разрыву в том случае, если действительная плотность волны (скачка, импульса и т.п.) больше, чем $\frac{\pi \cdot \gamma_0 E}{c}$. То есть, при воздействии импульса на дефекты длиной a , их перевод в критическое состояние определяется соотношением (2). Или, иначе, используя данные [7], дефекты будут приведены к граничным условиям их роста напряжениями σ только скачком – импульсом длительностью:

$$\tau > \frac{\pi^2 a}{2c} = \frac{\pi^2 a}{2} \left(\frac{\rho(1-\mu)}{E} \right)^{1/2},$$

где ρ – плотность горной породы.

Так как колебательный процесс может быть рассмотрен как набор импульсов, то данный подход представляется нам достаточно обоснованным.

Анализ исследований разрушения горных пород [10, 11] показывает, что условия лавинного разрушения – ГДЯ создаются при развитии микродефектов по некоторому объему материала в условиях резко возрастающего дополнительного давления от десорбированного газа. Причем их число должно достичь некоторой критической концентрации в соответствии с интегральным критерием разрушения [12, 13].

Разложение акустического сигнала $F(t)$, распространяющегося от источника колебаний (см. рис. 1 - 3) дает выражение:

$$F(t) = A_1(\cos \omega_1 t + \varphi_1) + \dots + A_n(\cos \omega_n t + \varphi_n).$$

Энергия импульса, согласно теореме Парсевала, выражается следующим образом [7]:

$$\int_0^{\tau} \sigma_a^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F^2(\omega) d\omega, \quad (4)$$

где $F(\omega)$ – члены ряда Фурье для импульса σ_a ; ω – частота спектральных членов.

Следует отметить, что эквивалентное напряжение σ_a является функцией от тензора напряжений, который состоит из двух слагаемых:

$$\sigma_a = f(T_0 + \dot{A}_i), \quad (5)$$

где T_0 – шаровой тензор напряжений; \dot{A}_i – девиатор напряжений.

В нашем случае углепородный массив представляет еще и газонасыщенную пористую среду. В связи с тем, что при деформировании и разрушении участ-

ка массива будет иметь место расширение газа, связанное с его десорбцией, в выражение (4) необходимо добавить еще одно слагаемое:

$$\sigma_a = f(T_0 + T_a + \dot{A}_i).$$

Таким образом, получено окончательное выражение (4), устанавливающее однозначную взаимосвязь между НДС, условиями на границах участка газонасыщенного углепородного массива и параметрами акустических импульсов, возникающих при возникновении трещин.

Выводы

1. Доказано наличие прямой связи интенсивности акустического излучения с действующими напряжениями, величина которых определяется глубиной расположения выработки, структурой и прочностью углепородного массива, формой внешних и внутренних границ выработки и конкретными условиями разработки.

2. Дальнейшие исследования, по нашему мнению, целесообразно продолжить в направлении исследования резонансных и релаксационных свойств отдельных характерных элементов породного массива с учетом дифракции на них акустических волн, а анализ процессов распространения акустических волн через углепородный массив в двух направлениях:

– акустический контроль состояния участка массива впереди выработки;

– исследование области массива впереди забоя как «геомеханической лазерной системы», работающей в режиме накачки до реализации ГДЯ.

3. Особое внимание следует уделить изучению влияния на процессы возникновения и распространения акустических колебаний в породном массиве находящегося в нем свободного и сорбированного метана, и, в особенности, процесса его перехода из связанного в свободное состояние.

Список литературы

1. Беляева И.Ю., Зайцев В.Ю. О предельном значении параметра упругой нелинейности структурно неоднородных сред // Акустический журнал. – 1998. – Т. 44, № 6. – С. 731-737.
2. Ларичев В.А., Максимов Г.А. О едином описании релаксационных и резонансных свойств акустических сред в рамках термодинамического подхода // Акустический журнал. – 1998. – Т. 44, № 6. – С. 814-822.
3. Обоснование параметров метода прогноза внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса: Отчет о НИР (заключительный). / Нац. горн. ун-т, №ГР 0107U005982 – Д., 2007. – 126 с.
4. Крылов В.В., Ланда П.С., Робсман В.А. Модель развития акустической эмиссии как хаотизация переходных процессов в связанных нелинейных осцилляторах // Акустический журнал – 1993. – Т. 39, № 1. – С. 108-122.
5. Колесников В.Г. Управление разрушением напряженных пород с позиций динамической микромеха-

ники // Геотехническая механика. – Д., ИГТМ НАН Украины. – 1997. – №3. – С. 92-95.

6. Основы теории колебаний / В.В. Мигулин, В.И. Медведев, Е.Р. Мустель, В.Н. Парыгин; под ред. В.В. Мигулина. – 2-е изд. перераб. – М.: Наука, 1988. – 392 с.

7. Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2001. – 413 с.

8. Колесников В.Г., Гроссу А.И. Физические аспекты контроля деформирования и разрушения напряженных горных пород // Геотехническая механика. – Д., ИГТМ НАН Украины. – 1997. – № 3. – С. 97-100.

9. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 278 с.

10. Ямщиков В.С. Волновые процессы в массиве горных пород. – М.: Недра, 1984. – 272 с.

11. Паламарчук Т.А. Теоретические предпосылки использования динамических характеристик акустических и электромагнитных полей для диагностики напряженного состояния массива горных пород // Геотехническая механика. – Д., ИГТМ НАН Украины. – 1997. – № 3. – С. 53-56.

12. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. – Ташкент: ФАН, 1985. – 168 с.

13. Киялбаев Д.А., Чудновский А.И. О разрушении деформируемых тел // Прикладная механика и техническая физика. – 1970. – № 3. – С. 26-33.

Рекомендовано до публікації д.т.н. С.П. Мінесвим 15.04.09

УДК 622.276.1:539.8

І.О. Садовенко, Я.Б. Петрівський, Ю.І. Демченко, З.М. Якубовська

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ТРІЩИНИ ГІДРОРОЗРИВУ З УРАХУВАННЯМ УТВОРЕННЯ ОБЛАСТІ ОСЛАБЛЕНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

У статті запропонована математична модель поширення тріщини гідророзриву, що дозволяє оцінити розміри утвореної внаслідок цього в масиві гірських порід області послаблених зв'язків. В основу моделі покладено аналітичний розв'язок задачі про розв'язання у вертикальному напрямку тріщини гідророзриву для випадку використання ньютонівської рідини розриву. Отримані результати дозволяють встановити основні закономірності впливу механічних властивостей гірських порід та контрольованих параметрів гідророзриву на процес формування області послаблених зв'язків в масиві при утворенні тріщини.

В статье предложена математическая модель развития трещины гидроразрыва, позволяющая оценить размеры образованной в результате этого в массиве горных пород области ослабленных связей. Основой модели является аналитическое решение задачи о распространении в вертикальном направлении трещины гидроразрыва для случая использования ньютонической жидкости. Полученные результаты позволяют установить основные закономерности влияния механических свойств горных пород и контролируемых параметров гидроразрыва на процесс формирования области ослабленных связей в массиве при образовании трещины.

In the article it is offered mathematical model of development of a hydraulic crack which allows to estimate the sizes formed as a result of it in a mountain breeds of area of the weakened communications. The model is based on the found analytical decision of a problem about distribution in a vertical direction of a hydraulic crack. The received results allow to establish the basic laws of influence of mechanical properties of mountain breeds and controllable parameters of hydraulic fracture on process of formation of area of the weakened communications in a space at formation of a crack.

Технологія гідравлічного розриву пласта (ГРП) є одним з продуктивних засобів інтенсифікації видобутку корисних копалин, що дозволяє отримати найбільший ефект в колекторах, з низькою проникністю. У зв'язку з цим моделювання процесу розвитку тріщини, який на конкретний момент часу залишається найбільш адекватним до реальних умов і достатньо точним засобом інтерпретації всього комплексу параметрів обробки свердловини і пласта технологією ГРП, передбачає визначення його основних характеристик, таких як розкриття і довжина розповсюдження тріщини, залежних від фізичних властивостей гірських порід і особливостей реології робочого агента.

У прикладних роботах з даного питання прогнозування геометрії тріщини є одним з центральних завдань проектування технологічної дії на пласт. Серед відомих моделей існують два фундаментально різних теоретичних підходи, які широко застосовуються для прогнозування геометрії вертикальних тріщин з постійною висотою. До першої моделі відносять модель Хрестіановича і Желтова, до альтернативної – модель Перкінса і Керна. У вказаних моделях принципова відмінність моделювання берегів тріщини є наслідком застосування методів лінійної теорії пружності до дослідження напружено-деформованого стану тіла за наявності великих деформацій, що не від-

повідас реальній картині напружено-деформованого стану у вершині тріщини. Вказана суперечність, відмічена ще Гріффітсом, привела до моделей, в яких береги тріщини під впливом великих сил зчеплення (порядку теоретичної міцності) змикаються плавно. При цьому всі відомі моделі неідеально крихких тіл основані на введенні сил зчеплення між берегами тріщини, що утворюється, і розрізняються тільки припущеннями щодо цих сил, тобто на відміну від моделі ідеально крихкого тіла Гріффітса, кінцева зона не є автономною [1-4].

Разом з тим, важливим аспектом досліджень що описують конкретні гірничотехнічні ситуації в умовах деформації і руйнування порідного середовища і інженерних споруд є оцінка розповсюдження області впливу ГРП за межами границь створеної тріщини розриву, що визначає вивчення стану порідного масиву в односторонній ділянці вершини тріщини у напрямку її розвитку.

У зв'язку з цим завданням досліджень є таке моделювання процесу розвитку тріщини ГРП, яке дозволяє відобразити співвідношення між прикладеним напруженням та режимом проведення ГРП за допомогою керованих параметрів – тиску нагнітання й інтенсивності закачування, що регулюють довжину тріщини, її розкриття і розміри створеної області ослаблених зв'язків у масиві гірських порід.

На прикладі техногенного родовища, де технологію ГРП пропонується використовувати для поліпшення фільтраційних властивостей підстилаючих порід при його розробці вилуговуванням, в комплексі сформульованих завдань досліджень, було знайдене рішення лінійно-пружної задачі з розповсюдження тріщини ГРП у вертикальному напрямку [5-7]

$$w(z,t) = \frac{k\pi}{4} \sqrt[3]{\left(\frac{48\lambda\mu}{k^2q_\infty}z + \frac{48\lambda^2\mu}{k^2q_\infty}t + B\right)}, \quad (1)$$

де $w(z,t)$ – розкриття тріщини; z – висота поширення тріщини; t – час проведення ГРП, λ – деякий параметр; q_∞ – горизонтальна складова гірського тиску; μ – в'язкість рідини розриву, $B = \left(\frac{4 \cdot w_0}{k \cdot \pi}\right)^3$;

w_0 – максимальне розкриття початкової тріщини, $k = \frac{2(1-\nu^2)}{E \cdot \pi} \cdot L \cdot q_\infty$; ν – коефіцієнт Пуассона; E – модуль Юнга, L – напівширина ділянки дії гідророзриву.

З урахуванням початкових і краєвих умов, що регламентують режим ГРП, закону розкриття тріщини (1) поширення тріщини для кожного моменту часу t знайдене як розв'язання системи нелінійних рівнянь [6]

$$\left. \begin{aligned} \frac{48 \cdot \lambda \cdot \mu}{k^2 \cdot q_\infty} \cdot h + \frac{48 \cdot \lambda^2 \cdot \mu}{k^2 \cdot q_\infty} \cdot t + B &= 0 \\ -\frac{L q_\infty k^3 \cdot \pi}{32 \lambda \mu} \left(\frac{48 \cdot \lambda^2 \cdot \mu}{k^2 \cdot q_\infty} t + B \right)^{\frac{4}{3}} &= V_0 + Q t \\ \frac{p(z,t)}{q_\infty} - 1 &= \left(\frac{48 \lambda \mu}{k^2 q_\infty} \cdot z + \frac{48 \lambda^2 \mu}{k^2 q_\infty} \cdot t + B \right)^{\frac{1}{3}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де h – максимальна висота поширення тріщини ГРП; V_0 – об'єм початкової тріщини; $p(z,t)$ – розподіл тиску всередині тріщини; Q – інтенсивність нагнітання робочого агента.

Виключаючи із системи рівнянь (2) невідомий параметр λ остаточно для випадку поширення у вертикальному напрямку тріщини гідророзриву отримаємо формули, що дозволяють для будь-якого моменту часу t оцінити розміри тріщини розриву за параметрами, контрольованими на усті свердловини

$$w(z,t) = b \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt[3]{(h-z)}, \quad (3)$$

де

$$b = \frac{\pi \cdot k^3}{4} \cdot \sqrt[6]{\frac{48 \cdot \mu}{q_\infty \cdot t}}, \quad \sigma_0 = \sqrt[6]{\left(\frac{p(Q \cdot t)}{q_\infty} - 1\right)^3 - B},$$

або для випадку витрати рідини розриву

$$w(z,t) = \frac{V_0 + Q \cdot t}{6 \cdot h \cdot L} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{h-z}{h}\right)}. \quad (4)$$

Довжина поширення тріщини розриву при цьому визначається формулою

$$h(t) = \frac{2 \cdot (V_0 + Q \cdot t) \cdot q}{3 \cdot k \cdot \pi \cdot L \cdot (p(o,t) - q)}. \quad (5)$$

Знайдене рішення пружної задачі про поширення тріщини гідророзриву передбачає плавне зімкнення берегів тріщини, що означає сингулярний розподіл напруги в околі вершини тріщини. На практиці гірські породи при значних зовнішніх навантаженнях у вказаній області звичайно мають межу текучості, що призводить до пластичних деформацій при напруженні більшому за цю межу. Таким чином, в околі вершини тріщини ГРП завжди є область, в якій виникають пластичні деформації, і отже, напруження не може бути сингулярним [8].

Для коректнішого опису співвідношень між прикладеним напруженням, довжиною тріщини, розміром області порушених і ослаблених зв'язків пропонується при моделюванні процесу поширення тріщини ГРП використовувати модель крихкої тріщини Леонова – Панасюка, яка формально еквівалентна

моделям пружнопластичної тріщини Дагдейла і крихкої тріщини Баренблатта, хоча її механічний зміст інший. У даній моделі враховується наявність кінцевої зони R тріщини, де її береги притягуються з постійним напруженням σ , якщо відстань між ними не перевищує деякої величини $\delta_{кр}$. Якщо розкриття, $w > \delta_{кр}$ то відповідно до концепції крихкої тріщини Леонова – Панасюка, взаємодія між берегами тріщини відсутня. Зону довжиною R називають зоною ослаблених зв'язків (рис. 1). У околі кожної точки цієї зони встановлено два параметри, що характеризують місця початку і кінця руйнування, що відповідні двом умовам руйнування [3, 4] умові скінченності напруження в кінцевій зоні тріщини (тобто $K = 0$, де K – коефіцієнт інтенсивності напруження у вершині тріщини); умові перетворення на нуль сил зчеплення в точці переходу від зони ослаблених зв'язків до зони порушених зв'язків. Величина σ вважається рівній межі крихкої міцності, тобто руйнівному напруженню, за відсутності пластичних деформацій.

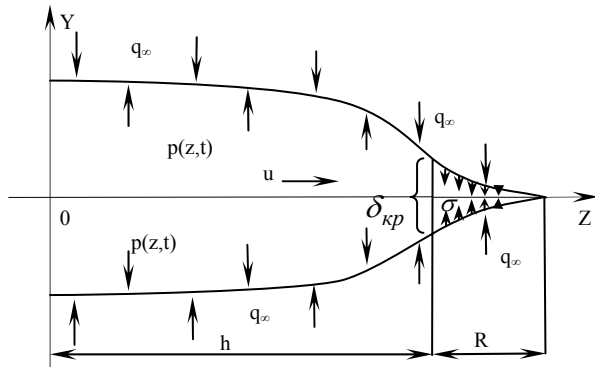


Рис. 1. Модель тріщини ГРП з урахуванням області ослаблених зв'язків

$$\text{Критичною умовою поширення тріщини є} \\ 2 \cdot w(h,t) = \delta_{кр}, \quad (6)$$

де $\delta_{кр}$ – критичне розкриття тріщини; $w(h,t)$ – зміщення берегів тріщини у напрямку осі Y .

Умова (2) означає, що при деякому значенні розкриття берегів тріщини сили зчеплення обертаються в нуль, а це призводить до умови $K = 0$ в точці переходу від зони ослаблених зв'язків до зони порушених зв'язків.

Розкриття тріщини ГРП і навантаження, що діє, за відсутності області ослаблених зв'язків згідно запропонованому вище рішення можна знайти за формулами (3) – (5).

У загальному випадку, для тріщини деякого значення поширення s внаслідок навантаження, що діє, дані формули набирають наступного вигляду

$$dw = b \cdot \varphi(s) \cdot \sqrt[3]{(s-z)} ds; \quad (7)$$

$$dp = q \cdot \left(\frac{4 \cdot b}{k \cdot \pi} \cdot \varphi(s) \cdot \sqrt[3]{(s-z)} + 1 \right) ds. \quad (8)$$

Тоді, згідно принципу суперпозицій, для безлічі тріщин різного значення поширення s ($h < s < h+R$), враховуючи наявність області ослаблених зв'язків протяжністю R і малої відстані $\delta_{кр}$ розділяючого берега тріщини в точці h , на підставі формул (7), (8) отримаємо співвідношення

$$w(z,t) = \begin{cases} b \int_h^{h+R} \varphi(s) \sqrt[3]{(s-z)} ds \text{ для } z < h, \\ b \int_z^{h+R} \varphi(s) \sqrt[3]{(s-z)} ds \text{ для } h < z < h+R, \\ 0 \text{ для } z > h+R \end{cases} \quad (9)$$

$$p(z,t) = q \int_h^z \left(\frac{4b}{k\pi} \varphi(s) \sqrt[3]{(z-s)} + 1 \right) ds \quad (10) \\ \text{для } h < z < h+R$$

Відомо, що гарантованою умовою утворення вертикальних тріщин гидророзриву є забезпечення такого режиму зростання внутрішньосвердловинного тиску, при якому виконується умова [9]

$$p_c = \sigma_p + 2 \cdot q_\infty, \quad (11)$$

де σ_p – межа міцності породи на розрив.

Враховуючи умову (11) і сформульовану задачу можна зробити висновок про те, що для стійкого розвитку тріщини ГРП необхідне створення в області ослаблених зв'язків, з метою подолання стягуючого напруження між берегами тріщини, еквівалентного навантаження не меншого значення ніж δ_n . Протидію існуючим стягуючим напруженням забезпечимо, задаючи функцію так, щоб в області ослаблених зв'язків, для кожної тріщини розриву протяжністю s ($h < s < h+R$), виконувалася наступна умова компенсації

$$\int_h^z (\sigma_p + 2q_\infty) ds = q_\infty \int_h^z \left(\frac{4b}{k\pi} \varphi(s) \sqrt[3]{(z-s)} + 1 \right) ds. \quad (12)$$

Із умови (12) для визначення необхідного компенсуючого навантаження $\varphi(s)$ отримаємо рівняння

$$\sigma_p \cdot (z-h) = \frac{4 \cdot b \cdot q_\infty}{k \cdot \pi} \cdot \int_h^z \varphi(s) \cdot \sqrt[3]{(z-s)} ds. \quad (13)$$

Рівняння (13) є інтегральним рівнянням Вольтерра першого роду з ядром $K(z,s) = (z-s)^{\frac{1}{3}}$ типу згортки [10]. В результаті його рішення отримаємо наступний вираз компенсуючого навантаження

$$\varphi(z) = \frac{3\sqrt{3} \cdot (\sigma_p + q_\infty) \cdot k}{8 \cdot b \cdot q_\infty} \cdot (z-h)^{\frac{-1}{3}} \quad (14)$$

На підставі рішення (14), враховуючи значення навантаження, що діє на гирлі свердловини в процесі ГРП (режим нагнітання) – характеризує функцію σ_0 і оцінку значення поширення області ослаблених зв'язків знайдемо, вирішивши рівняння відносно R

$$\sigma_0 = \frac{3\sqrt{3} \cdot (\sigma_p + q_\infty) \cdot k}{8 \cdot b \cdot q_\infty} \cdot \int_h^{h+R} (s-h)^{\frac{-1}{3}} ds \quad (15)$$

Проінтегрувавши праву частину рівняння (15) у вказаних межах, з урахуванням значення характеризує функції, знайдемо значення поширення області ослаблених зв'язків

$$R = \left(\frac{16 \cdot \sigma_0 \cdot b \cdot q_\infty}{9\sqrt{3} \cdot (\sigma_p + q_\infty) \cdot k} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (16)$$

Згідно зі співвідношенням (9) розвиток тріщини ГРП під дією розклинюючого агента на ділянці порушених зв'язків розкриття тріщини і деформаційних зсувів в області ослаблених зв'язків для кожного моменту часу t записується в наступному вигляді

$$w(z, t) = \begin{cases} \frac{3\sqrt{3}k}{8q_\infty} (\sigma_p + q_\infty) \int_h^{h+R} \sqrt[3]{\frac{s-z}{s-h}} ds \text{ для } z < h, \\ \frac{3\sqrt{3}k}{8q_\infty} (\sigma_p + q_\infty) \int_z^{h+R} \sqrt[3]{\frac{s-z}{s-h}} ds \text{ для } h < z < h+R, \\ 0 \text{ для } z > h+R \end{cases} \quad (17)$$

Відмітимо, що інтеграл у системі (17) за допомогою нової змінної $v = \sqrt[3]{\frac{s-z}{s-h}}$ перетвориться до інтеграла від дробово-раціональної функції, який у свою чергу завжди інтегрується у кінцевому вигляді і результатом є алгебраїчна сума елементарних функ-

цій (дробово-раціональної, натурального логарифма і арктангенса).

Але таке аналітичне рішення для практичного застосування є досить громіздким і для вирішення (17) доцільно використовувати чисельну інтеграцію, реалізовану в одному з багаточисельних і постійно удосконалюваних пакетах комп'ютерної математики.

Формула (17) дозволяє знайти критичну умову поширення тріщини ГРП, а на підставі умови (6) сили зчеплення обертаються в нуль в точці переходу від ділянки ослаблених зв'язків до області порушених зв'язків. Враховуючи це отримаємо

$$\delta_{\text{до}} = 2 \frac{3\sqrt{3}k}{8q_\infty} (\sigma_p + q_\infty) \int_h^{h+R} \sqrt[3]{\frac{s-h}{s-h}} ds,$$

або

$$\delta_{\text{до}} = \frac{16}{9 \cdot \sqrt[4]{3}} \sqrt{\frac{q_\infty}{(\sigma_p + q_\infty) \cdot k}} \cdot (\sigma_0 \cdot b)^{\frac{3}{2}} \quad (18)$$

Для ілюстрації розрахунку з визначення розповсюдження області ослаблених зв'язків в масиві гірських порід, унаслідок утворення тріщини розриву, був проведений чисельний експеримент при наступних модельних параметрах гидророзриву: $q_\infty = 10 \text{ МПа}$, $\mu = 0,1 \text{ Іл} \cdot \text{дн}$, $q_\infty = 10 \text{ МПа}$, $\mu = 0,1 \text{ Іл} \cdot \text{дн}$, $L = 2 \text{ м}$,

$z_0 = 0,1 \text{ м}$, $Q = 0,5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$, $t = 3 \text{ с}$ і механічних властивостях гірських порід: $E_1 = 5 \text{ ГПа}$, $\nu_1 = 0,3$, $\sigma_{\text{д}1} = 30 \text{ МПа}$, $E_2 = 10 \text{ ГПа}$, $\nu_2 = 0,23$, $\sigma_{\text{д}2} = 5 \text{ МПа}$, $E_3 = 30 \text{ ГПа}$, $\nu_3 = 0,2$, $\sigma_{\text{д}3} = 10 \text{ МПа}$,

що відповідає середнім показникам механічних властивостей піщаника, аргіліту та глинистих сланців. В табл. 1 наведені результати розрахунків основних характеристик ГРП.

Таблиця 1

Результати розрахунку параметрів тріщини ГРП з урахуванням області порушених і ослаблених зв'язків

Гірська порода	Максимальне поширення, h_{max} , м	Максимальне розкриття – w_{max} , м	Поширення області ослаблених зв'язків R , м	Критичне розкриття тріщини $\delta_{\text{кр}}$, м
Піщаник	19,7	$6,34 \cdot 10^{-3}$	0,132	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Аргіліти	27,1	$4,58 \cdot 10^{-3}$	0,8	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Глинисті сланці	46,9	$2,65 \cdot 10^{-3}$	0,89	$9,4 \cdot 10^{-4}$

У наступній серії розрахунків, на прикладі піщаника і глинистих сланців, для тих же умов проведення ГРП, досліджений вплив параметра σ_p на поширення області ослаблених зв'язків і критичного розкриття тріщини, що обумовлене значною варіацією даного параметра навіть для порід одного петрографічного найменування з різним складом і структурою породи. Нижче, на рис. 2 і 3 наведені результати розрахунку.

Таким чином, на підставі результатів дослідження можна зробити висновок про те, що дов-

жина області ослаблених зв'язків в гірському масиві, що вміщує утворену гидророзривом тріщину, залежить як від значення модуля пружності, так і від значення межі міцності породи на розрив. Довжина області більша у породах з меншим значенням параметра σ_0 при більшому значенні модуля пружності. Для порід одного петрографічного складу довжина області ослаблених зв'язків збільшується при менших значеннях межі міцності породи на розрив.

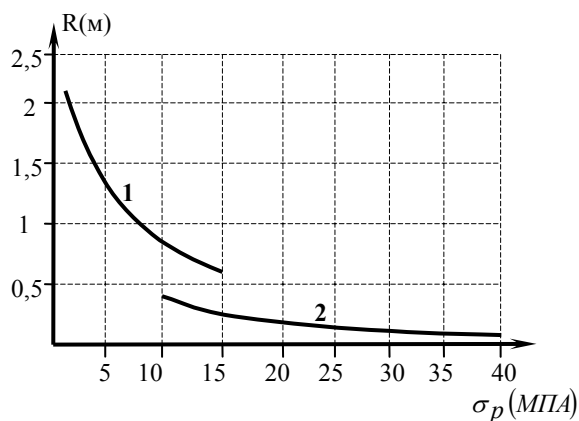


Рис. 2. Залежність розповсюдження області ослаблених зв'язків від значення σ_p при проведенні ГРП: 1 – глинисті сланці; 2 – пісковики

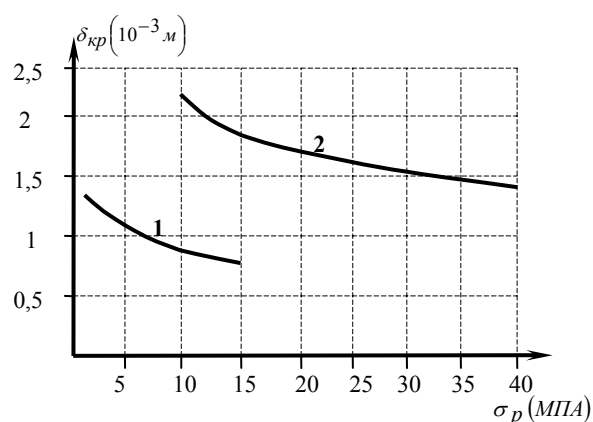


Рис. 3. Залежність критичного розкриття тріщини $\delta_{кр}$ від значення σ_p при проведенні ГРП: 1 – глинисті сланці; 2 – пісковики

Список літератури

1. Желтов Ю.П. Деформации горных пород. – М.: Недра, 1966. – 198 с.
2. Economides M.J., Nolte K.G. Reservoir stimulation. – Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England. – 2000. – 858 p.
3. Broberg K. B. Cracks and Fracture. – Academic Press, 1999. – 752 p.
4. Селиванов В.В. Механика разрушения деформируемого тела. – М.: Изд-во МГТУ им. И.Э. Баумана, 1999. – 420 с.
5. Закономерность снижения радиоактивности техногенных формаций при бактериальном выщелачивании урана / Черней Э.И., Булат А.Ф., Садовенко И.А. и др. – Рівне: Волин. обереги, 2004. – 572 с.
6. Sadovenko I., Petrivsky Ya., Rudakov D. Crack extension in rock under the artificial mineral deposit caused by injection of a fracturing non-Newtonian fluid // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – № 6. – Р. 34-37.
7. Петривский Я.Б. Научные основы геотехнологического извлечения урана из техногенных месторождений. – Рівне: Видавничий комплекс «Острозька академія», 2008. – 400 с.
8. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. – М.: Недра, 1999. – 447 с.
9. Михалюк А.В. Торпедирование и импульсный гидроразрыв пластов. – К.: Наукова думка, 1986. – 208 с.
10. Васильева А.Б., Тихонов Н.А. Интегральные уравнения. – М.: Физматлит, 2002. – 159 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бондаренком 30.04.09

УДК 622.807

В.М. Павлиш, О.С. Гребьонкіна, Ю.І. Демченко

ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНОЇ ДІЇ НА ВУГІЛЬНИЙ ПЛАСТ

Пропонується метод інженерного розрахунку параметрів технології зволоження вугільних пластів, побудований на основі чисельного рішення лінеаризованого рівняння нелінійної пружної фільтрації рідини в суцільному тріщинувато-пористому середовищі.

Предлагается метод инженерного расчета параметров технологии увлажнения угольных пластов, построенный на основе численного решения линейризованного уравнения нелинейной упругой фильтрации жидкости в сплошной трещиновато-пористой среде.

The method of engineering calculation of parameters of technology of moistening of coal layers is offered, built on the basis of numeral decision of the linearized equalization of nonlinear resilient filtration of liquid in a continuous treschinno-porous environment.

Актуальність роботи. Попередня обробка вугільних пластів рідинами в різних режимах є важли-

вим засобом вирішення проблеми боротьби з небезпечними явищами в шахтах [1]. Одна з основних пе-

реваг цього способу – завчасна і необоротна зміна стану і властивостей вугільного масиву, що дозволяє попередити виникнення небезпечних явищ при веденні гірничих робіт.

Гідралічна (гідродинамічна) дія полягає в примусовому введенні (нагнітанні) рідини (речовини, що володіє властивістю плинності) у вугільний пласт під тиском, що забезпечує її просування в тріщинувато-пористім просторі пласта. Для здійснення дії необхідно розробити технологію і методи розрахунку параметрів процесу, що визначаються на основі математичного опису. Через складність процесу його математична модель являє собою крайову задачу для нелінійного параболічного рівняння, а для її реалізації необхідно застосовувати комп'ютера. Однак на практиці важливо мати спрощену методику для орієнтованого інженерного розрахунку, що не вимагає технічних засобів. У цьому зв'язку тема роботи є актуальною.

Мета досліджень – розробка інженерних методів розрахунку параметрів, основаних на чисельній реалізації математичної моделі процесу.

Зміст роботи. В основу математичної моделі покладене рівняння нелінійно-пружного режиму фільтрації [2]:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \chi \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ [1 + \alpha(P - P_0)] \frac{\partial P}{\partial x_i} \right\}, \quad (1)$$

де $\chi = \frac{k_0}{\mu_0(n_{\gamma_0} a_\rho + a_m)}$ – коефіцієнт пьезопроводності;

$\alpha = a_k + a_\rho - a_\mu$, a_k, a_n, a_μ, a_ρ – відповідно коефіцієнти зміни проникності, пористості, в'язкості та щільності; k – проникність (k_0 – «стаціонарна, початкова» проникність); n_0 – пористість (n_{γ_0} – «початкова» пористість); μ – в'язкість рідини (μ_0 – «початкова» в'язкість); ρ_j – щільність j -ї фази (ρ_0 – «початкова» щільність); P – тиск; t – час; x_i – осі координат.

Повна математична модель процесу повинна містити комплекс математичних залежностей, на основі яких можна уявити хід процесу і розрахувати його параметри. У даному випадку для отримання математичної моделі процесу гідралічної дії на пласт рівняння (2) повинне бути доповнено початковими і граничними умовами, що, у свою чергу, визначаються технологічними схемами і режимами обробки. Отже, постановка задачі дослідження і розрахунку параметрів процесу формується відповідно до конкретної технологічної схеми.

Інженерний метод розрахунку будується на основі рівняння одномірної фільтрації:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \chi \frac{\partial}{\partial x} \left[(1 + \alpha(P - P_0)) \frac{\partial P}{\partial x} \right]. \quad (2)$$

У даному випадку свердловину можна вважати розташованою на початку координат, інші варіанти положення свердловини можна звести до цього.

Область фільтрації по осі OX обмежена відрізком $0L$, причому величина L може або задаватися (коли

відомі розміри зони, яку необхідно обробити однією свердловиною), або розраховуватися (коли задано обмежений час обробки $T_{обр}$).

Рівняння (2) – це нелінійне параболічне рівняння, точне рішення якого досить утруднено. Для чисельного вирішення застосовується метод кінцевих різниць [3].

Позначимо: $P = P - P_0$.

Вихідне рівняння записується у вигляді:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(P) \frac{\partial P}{\partial x} \right]; \quad (3)$$

введемо безрозмірні (нормовані) змінні:

$$\left. \begin{aligned} p^* &= \frac{P}{P_{xap}}; & P &= P_{xap} p^*; \\ x^* &= \frac{x}{L}; & x &= L x^*; \\ k^* &= \frac{k(P)}{k_{xap}(P)}; & k(P) &= k_{xap}(P) \cdot k^*; \\ t^* &= \frac{t}{t_{xap}}; & t &= t_{xap} \cdot t^* \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де $P_{xap}, k_{xap}(P), t_{xap}$ – деякі характерні значення відповідних величин (часто максимальні, як, наприклад, у даному випадку для x : $x_{xap} = x_{max} = L$).

Підставляємо отримані змінні в (3):

$$\frac{P_{xap}}{t_{xap}} \frac{\partial p^*}{\partial t^*} = \frac{k_{xap}(P) P_{xap}}{L^2} \frac{\partial}{\partial x^*} \left(k^* \frac{\partial p^*}{\partial x^*} \right); \quad (5)$$

Якщо покласти: $t_{xap} = \frac{P_{xap} L^2}{k_{xap}(P)}$, то вийде:

$$\frac{\partial p^*}{\partial t^*} = \frac{\partial}{\partial x^*} \left(k^* \frac{\partial p^*}{\partial x^*} \right); \quad (6)$$

Як видно, рівняння (6) і (3) різні тільки в позначеннях, тому зірочки (*) можна опустити.

Отже, заміна (4) дозволяє перейти до нормованих безрозмірних змінних, рівняння (6) записується у вигляді:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial p}{\partial x} \right). \quad (7)$$

Область, усередині якої потрібно відшукати функцію $p(x, t)$, покривається сіткою, яка утворена прямими, рівнобіжними осям координат, а безперервна функція $p(x, t)$ відшукується у вигляді таблиці дискретних її значень у вузлах сітки [3]:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= i \cdot \Delta x; & i &= 0, 1, 2, \dots, n \\ t_j &= j \cdot \Delta t; & j &= 1, 2, 3, \dots \\ p(x, t) &\rightarrow \{p(x_i, t_j)\} = \{p_{i,j}\}; \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Апроксимуємо похідні по неявній чотирикутній схемі [3]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \frac{p_{i,j} - p_{i,j-1}}{\Delta t}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial p}{\partial x} \right) \approx \frac{k_{i+0,5,j} p_{i+1,j} - (k_{i+0,5,j} + k_{i-0,5,j}) p_{i,j} + k_{i-0,5,j} p_{i-1,j}}{\Delta x^2} \quad (10)$$

Дорівнявши (9) і (10), одержимо:

$$\frac{\Delta t}{\Delta x^2} k_{i+0,5,j} p_{i+1,j} - \left[\frac{\Delta t}{\Delta x^2} (k_{i+0,5,j} + k_{i-0,5,j}) + 1 \right] p_{i,j} + \frac{\Delta t}{\Delta x^2} k_{i-0,5,j} p_{i-1,j} = -p_{i,j-1} \quad (11)$$

Рішення отриманої системи знаходиться методом прогону [3].

Оскільки коефіцієнт $k(p)$ є функцією тиску, необхідно застосовувати ітераційний процес. Як перше наближення задається значення тиску на попередньому кроці за часом, потім ітераційний розрахунок повторюється доти, поки не буде досягнута задана точність.

Таким чином, виходячи з початкових умов, можна розрахувати розподіл значень тиску в будь-який момент часу. Критерієм закінчення може слугувати момент досягнення фронтом фільтрації межі відрізка $0L$. Для контролю за ходом розрахунку можна використовувати метод матеріального балансу й інші методи [3].

У результаті рішення виходять криві $p(x)$ для різних моментів часу і $p(t)$ на різній відстані від свердловини. На рис. 1 наведені криві, отримані при рішенні задачі з заданим темпом нагнітання.

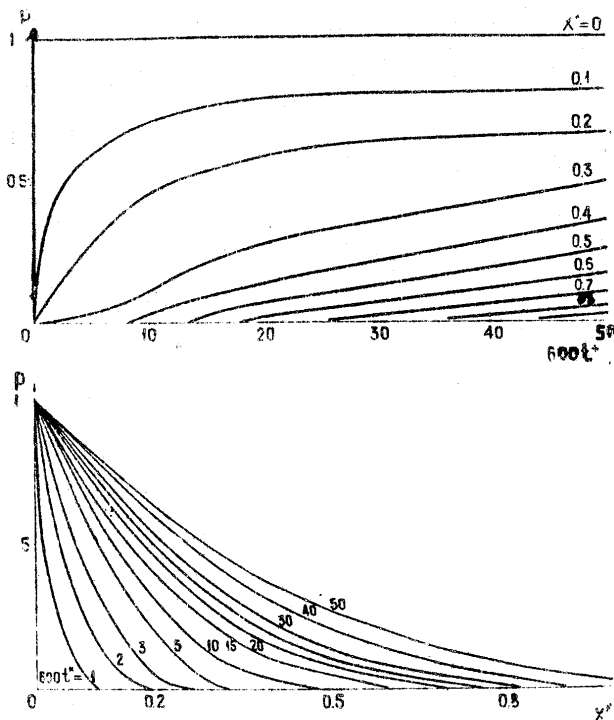


Рис. 1. Результати рішення одномірної задачі для параметрів: проникність – 0,1 мд; пористість – 4%; темп нагнітання – 10 л/хв

Якщо вирішити задачу для одиничних величин усіх характеристик (проникності, пористості, в'язкості, тиску і т.д.), то на підставі цього рішення можна побудувати методику інженерного розрахунку основних параметрів процесу гідравлічної обробки пластів, якщо використовується технологічна схема нагнітання рідини через одиночні свердловини (галерею свердловин). Для цього можна використовувати наступний підхід.

Основні параметри технологічної схеми наступні: а) діаметр свердловини d ; б) довжина свердловини l_c ; в) глибина герметизації l_a ; г) відстань між свердловинами $L_{M.C.}$; д) тиск нагнітання p_c ; е) темп нагнітання q ; ж) витрата води на свердловину Q_c ; з) час нагнітання T .

Щодо величини тиску нагнітання серед більшості авторів існує одностайна думка: величина тиску, що забезпечує фільтрацію і при цьому не призводить до гідророзчленування, не повинна перевищувати значення $p_{max} = (0,08 - 0,1) \gamma H$, кгс/см².

Розмірності величин, що входять у рівняння, повинні бути, зрозуміло, погоджені. У даному випадку:

$$[p] = 1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2; [t] = 1 \text{ сек}; [k] = 1 \text{ мд} = 10^{-11} \text{ см}^2; [x] = 1 \text{ м} = 100 \text{ см};$$

$$[\mu] = 1 \text{ спз} = \frac{10^{-7} \text{ еАс} \cdot \tilde{n}}{g \tilde{m}^2}; [n_{\text{D}}] = 1\%;$$

$$[q] = 1 \frac{\text{е}}{\text{д} \cdot \tilde{m}^2}; [Q] = 1 \text{ е} / \text{д} \cdot \tilde{a}.$$

Вводимо безрозмірні величини, причому нормуємо так, щоб усі вони були не більші за 1 (таким шляхом ми перейдемо до «одиничних» величин):

$$p^* = \frac{p}{p_c}; k^* = \frac{k}{k_0}; \mu^* = \frac{\mu}{\mu_0}; n_{\text{D}}^* = \frac{n_{\text{D}}}{n_{\text{D}0}}; x^* = \frac{x}{L},$$

$$t^* = \frac{t}{t_0}; t_0 = \frac{L^2 \mu_0 \tilde{y}_0}{k_0 p_c}; q^* = \frac{q}{q_0}; q_0 = \frac{k_0 p_c}{\mu_0 L C}.$$

У результаті рішення криві залежності $p(x,t)$ рис. 1 набувають вигляду нормованих. На підставі цих кривих можна розраховувати основні параметри технологічної схеми нагнітання в такий спосіб.

Тиск нагнітання:

$$p_c = (0,08 - 0,1) \gamma H.$$

На осі ординат рис. 1 замість одиниці відкладається отримане значення p , тобто градується вісь ординат.

Час фільтрації визначається з наступних розумінь. Нагнітання повинне бути припинене, коли рідина досягне покрівлі (грунту) і з'явиться можливість її виходу на штрек по контакту пласта з бічними породами. Приймавши $L = \frac{m}{2}$, можна розрахувати величину, що нормує вісь часу:

$$t_0 = \frac{\mu_0 \dot{\gamma}_0 \left(\frac{m}{2}\right)^2}{k_{oz} p_c} \quad (12)$$

Величина k_{oz} – це коефіцієнт фільтрації по потужності (уздовж осі OZ). Введенням такого коефіцієнта враховується анізотропія пласта.

Крок обраний: по просторі $\Delta x^* = 0,1$; за часом $\Delta t^* = \frac{1}{6} \cdot 10^{-2}$.

$$\text{Тоді час фільтрації: } T = \frac{\mu_0 n \dot{\gamma}_0 m^2}{48 k_{oz} p_c}$$

Радіус зволоження по осі OX можна визначити в такий спосіб. Нехай k_{ox} – проникність уздовж осі OX . Тоді масштаб за часом з умови досягнення рідиною відстані L по осі OX :

$$t_0 = \frac{\mu_0 n \dot{\gamma}_0 L^2}{k_{ox} p_c} \quad (13)$$

Дорівнявши (12) і (13), одержимо: $L = \frac{m}{2} \sqrt{\frac{k_{ox}}{k_{oz}}}$.

Відстань між свердловинами $L_{i.\bar{n}} = 2L$.

Відстань до вибою і штреку визначається з урахуванням впливу опорного тиску. При потужності пласта m з урахуванням радіуса зволоження: $l_0 = (15 - 25)m$.

Довжина свердловини: $l_c = L_e - l_0$.

Глибина герметизації визначається з урахуванням того, щоб нагнітання вироблялося в зоні, не підданій впливу опорного тиску, і щоб рідина не встигла прорватися у виробку: $l_a = (10 - 15)(1 - e^{-m})$.

Довжина фільтруючої частини: $l_\delta = l_c - l_a$.

Діаметр свердловини d визначається наявним устаткуванням.

Темп нагнітання визначається з урахуванням фільтруючої поверхні.

Площа поверхні свердловини:

$$S_c = \pi d l_\phi + 0,5 \pi d^2$$

Питома витрата:

$$q_r^* = \frac{\Delta p^*}{\Delta x^*} \cdot \frac{k^*}{\mu^*}; \quad q_r = q_0 \cdot q_r^*; \quad q_r = \frac{k_0 p_c}{\mu_0 L C}$$

Темп нагнітання: $q = q_r \cdot S_c$.

Витрата рідини на свердловину: $Q_c = q \cdot T$.

Висновки. Таким чином, нормовані криві, отримані рішенням рівняння нелінійної несталі фільтрації, дають можливість розраховувати всі параметри технологічної схеми нагнітання рідини через довгі свердловини, пробурені з гірничої виробки перед очисним вибоєм. Наведений розрахунок може бути виконаний без проведення дослідних нагнітань, він не вимагає ніяких вхідних даних, крім тих, котрі характеризують конкретні параметри пласта: глибину залягання, проникність, пористість, а також в'язкість рідини. Отже, це дає можливість попереднього розрахунку та прогнозу параметрів нагнітання будь-якої рідини (полімеру, мікробіологічної суспензії та ін.).

Список літератури

1. ДНАОП 1.1.30-1.01-00. Правила безпеки у вугільних шахтах. Державний нормативний акт з охорони праці. – К., Держнаглядохоронпраці, 2000. – 484 с.
2. Павлыш В.Н. Развитие теоретических основ комплексного гидропневматического воздействия на угольные пласты: Дис. ... д-ра техн. наук. – Д., 2006. – 392 с.
3. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977. – 656 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бондаренком 08.06.09

АЛГОРИТМІЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО САЙТУ МАРКШЕЙДЕРСЬКО-ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Розроблений алгоритм інформаційно-аналітичного сайту дозволить відстежувати напружену геодинамічну обстановку гірничодобувного регіону із складними геологічними умовами, прогнозувати розвиток негативних процесів і давати рекомендації щодо ліквідації або зниження ступеня небезпеки. ГІС загалом у подальшому зможе послугувати прообразом (аналогом) при створенні опорної екологічної ГІС м. Кривого Рогу.

Разработанный алгоритм информационно-аналитического сайта позволит отслеживать напряженную геодинамическую обстановку горнодобывающего региона со сложными геологическими условиями, прогнозировать развитие негативных процессов и давать рекомендации относительно ликвидации или снижению степени их опасности. ГИС в целом в дальнейшем сможет стать прообразом (аналогом) при создании опорной экологической ГИС г. Кривого Рога.

The algorithm of analytic site will allow you to track the tense situation geodynamical mining region with complex geological conditions, forecasts-ment development of negative processes and make recommendations for eliminating or reducing the risk of them. GIS as a whole continue to be a prototype (analog) when you create a support environmental GIS in Krivoy Rog.

У другій половині 20-го століття відбулася якісна зміна форм проявів геодинамічної небезпеки, яка вийшла за межі гірничодобувної галузі і перетворилася на основну складову екологічної проблеми [1]. При розробці родовищ корисних копалин в Україні, а також на зарубіжних родовищах відбуваються гірничо-тектонічні удари, що викликають руйнування на поверхні, утворення провалів, появу тріщин, зникнення водотоків, підтоплення, проявляється техногенна сейсмічність, відбуваються землетруси в районах ліквідації шахт та масових вибухів тощо. В Україні діє декілька гірничопромислових регіонів, в яких техногенна сейсмічність зумовила підвищення небезпеки експлуатації інших промислових виробництв, почала здійснювати безпосередній вплив на небезпеку навколишнього середовища для людини. Виявилася приналежність аварійних ділянок на трубопроводах, залізницях, інших крупних інженерних спорудах до геодинамічних активних зон.

Зростання інтенсивності та масштабів техногенної діяльності з метою видобутку корисних копалин, використання земельних, водних енергетичних ресурсів, подальшого розвитку іригаційних систем, прокладання інженерних комунікацій в поєднанні зі збільшенням стихійно-руйнівних сил природи україн заострили проблеми, пов'язані з забезпеченням безпеки населення та навколишнього середовища. В процесі техногенних дій і залучення в сферу господарської діяльності легко вразливих територій зростає вірогідність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, що посилюється «старінням» раніше побудованих інженерних споруд, високим ступенем зносу устаткування тощо [1, 2].

Упродовж багатьох років експлуатації гірничодобувних комплексів України сформувався однобічний підхід до вивчення та видобутку мінеральної сирови-

ни. Яскравим прикладом зазначеного може слугувати Криворізький залізрудний басейн. А це означає, що для залізрудного Криворізького басейну характерні проблеми, властиві багатьом крупним гірничодобувним регіонам України: сотні квадратних кілометрів земної поверхні виявилися під зонами обвалення, шламосховищами, ставками-накопичувачами шахтних вод, відвалами тощо, що призвело до активізації різного роду екзогенних процесів та явищ, які вже без сумніву можна класифікувати як техногенно-природні. Це, в першу чергу, стосується проявлення карсту, підтоплення, формування зон обрушень, осування значних мас гірничих порід, відвалів, бортів кар'єрів і т.п (табл.). Проте є і специфічні умови та проблеми.

Можливість для суттєвого покращення ситуації у Криворізькому басейні створила Постанова Кабінету Міністрів України від 28 квітня 1999 р. № 715 «Про проведення еколого-економічного експерименту в містах Кривий Ріг, Дніпродзержинськ, Маріуполь і Запоріжжя». Протягом року після виходу зазначеної Постанови в кожному з вищезгаданих міст були розроблені програми по виходу із екологічної кризи, розраховані для виконання до 2010 року й у подальшому до 2015 року. Проте, незважаючи на незавершеність реалізації цих програм, на початку 2006 року Державна програма з проведення еколого-економічного експерименту була призупинена відповідною Постановою нового Кабінету Міністрів України, що негативно вплинуло на отримання повної всебічної і достовірної інформації про реальну картину екологічного стану довкілля Кривбасу, завдяки чому стало неможливим прийняття своєчасних рішень щодо стабілізації і відродження техногенно-порушеного навколишнього природного середовища регіону.

Тому вирішувана в статті проблема прогнозування і забезпечення готовності до природно-техногенних явищ катастрофічного характеру є вдосконалення маркшейдерсько-геодезичного інформа-

ційного забезпечення гірничодобувного регіону для вивчення змін ресурсів надр і земної поверхні, які забезпечують життєдіяльність, під впливом антропогенних чинників, є актуальною.

Таблиця

Узагальнені характеристики регіонального впливу розробки родовищ корисних копалин на геологічне середовище Криворізького басейну

Гірничодобувний регіон	Фактор впливу гірничих робіт на геологічне середовище				
	Площі порушення денної поверхні (км ²)	Приплив шахтних вод (м ³ /доба)	Техногенний розвиток небезпечних геологічних процесів	Об'єми накопичених відходів (млн. м ³)	Ступінь забруднення головних ресурсів (грунти, поверхневі та підземні води, приземна атмосфера)
Криворізький басейн (залізна руда)	170	0,13·10 ⁶	Просідання, зрушення, зсуви, підтоплення, карст	1,6	Комплексна (важкими металами, нафтопродуктами та хімічними сполуками)

Одним з найважливіших напрямів розвитку системи маркшейдерсько-геодезичного забезпечення моніторингу є створення технічної бази, яка дозволила б повною мірою використовувати можливості електронно-оптичної й обчислювальної техніки, інформаційної технології для підвищення ефективності обліку і контролю за середовищем із складними геологічними умовами робіт й обґрунтованості ухвалюваних рішень (рис. 1). Іншим напрямом системи маркшейдерського моніторингу є створення маркшейдерського інформаційного забезпечення, як об'єкта інтерпретації на основі пакету даних, що забезпечує усунення невиправданого дублювання, зниження ви-

трат і комплексне використання однократно зібраних даних.

Шляхи розв'язання проблем полягають у:

1) необхідності створення ефективної системи контролю та прогнозування надзвичайних ситуацій на підставі маркшейдерсько-геодезичного моніторингу, використання мережі космічних і авіаційних систем спостережень, електронних систем зв'язку, створених на основі технологій ГІС;

2) вдосконаленні системи діагностики, прогнозу й ухвалення рішень у реальному масштабі часу.

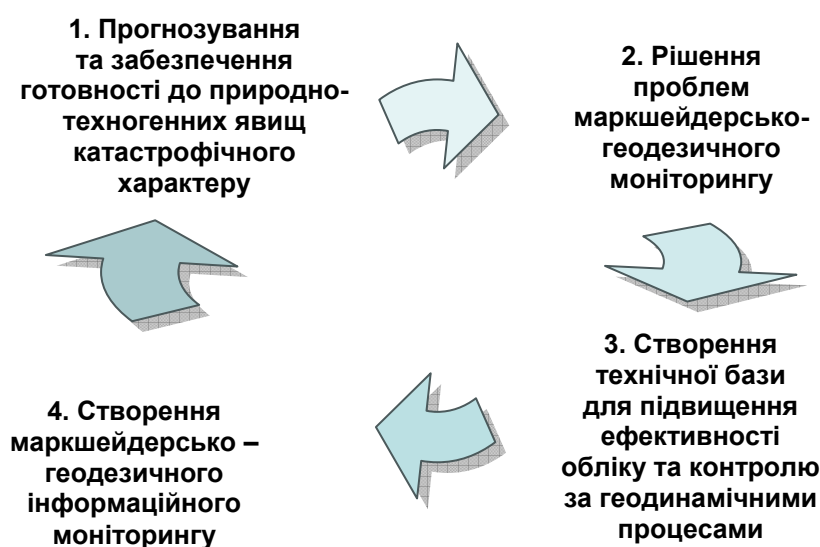


Рис. 1. Напрями вдосконалення маркшейдерсько-геодезичного моніторингу гірничодобувного регіону

Для сучасного суспільства все більш запитуваним є отримання актуальної інформації про просторові дані та їх зміну в часі. Найбільший інтерес викликає створення єдиного інформаційного простору, що дозволяє оперувати як з просторовими даними, так і різними інформаційними базами, створюваними та тими, що зберігаються в різних державних і комерційних структурах. Сумісне використання даного інформаційного ресурсу дозволить здійснювати рішення сучасних проблем на якісно новому рівні.

У теперішній час основними труднощами для оцінки геодинамічного стану геологічного середовища в Кривбасі є: розрізненість, неузгодженість і безсистемність фактичних даних техногенного впливу на навколишнє середовище регіону, недосконалість або відсутність методики оцінки ступеня його впливу, незавершеність розробки екологічної та правової бази, яка базується на висновках, що торкаються меж та статусу зон надзвичайних ситуацій.

Розробляючи сайт, автор планує надати увагу не тільки його зовнішньому вигляду, але й структурі, так як вона відповідає за зручність користування та пов'язана з кількістю користувачів [3, 4]. Відомо, що єдиної класифікації сайтів не існує. Частіше всього структура сайту залежить від функцій, які він виконує. Наприклад, сайт-візитка складається з невеликої кількості сторінок, які містять інформацію про компанію і з її профільної діяльності, контактні дані. Корпоративний сайт є складним за структурою й можливостях багатосторінковий ресурс (сайт початкового рівня, сайт середнього рівня і сайт високого рівня).

Враховуючи мету та завдання, які стоять перед створюваним інформаційно-аналітичним сайтом, кількість охоплених об'єктів та явищ моніторингу, вважаємо за необхідне в розробці саме корпоративного сайту високого рівня із кількістю понад 300 сторінок із дворівневою системою навігації та системою навігації з трьох рівнів припустимою до 15% від загальної кількості сторінок. Наявність великої кількості сторінок передбачає карту сайту та оригінальний функціональний дизайн. Зручна панель навігації нашого сайту з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом і логічно замкнутим ланцюгом інформації стане головною перевагою сайту, який спростить користувачеві легкий і швидкий шлях до інформації, що цікавить його.

Зрозуміло, що створення сайту – багаторівневий, складний і трудомісткий процес, який вимагає залучення фахівців: маркшейдерів, геодезистів, геологів, програмістів, дизайнерів. Типовий план розробки сайту включає: аналіз потреб користувача, ситуації в Інтернеті; побудову структури майбутнього сайту; розробку дизайну; програмування; верстку і наповнення; запуск сайту в Інтернеті та технічну підтримку й оновлення вже функціонуючого сайту. Якісне виконання такого плану розробки сайту вимагає професійного підходу. На рис. 2 наведена схема такої взаємодії елементів інформаційно-аналітичного сайту маркшейдерсько-геодезичного моніторингу Кривбасу.

Автоматизована обробка та інтерпретація маркшейдерсько-геодезичних даних основана на централізованій обробці даних у низці віддалених серверів, які пов'язані з підприємствами, що ведуть збір інформації по встановлених об'єктах. Враховуючи вищевикладені завдання та об'єми збору науково-технічних даних, які підлягають систематизації, на нашу думку, необхідно створити головний сервер Інформаційно-аналітичного центру на базі Виконкому міської ради, із залученням усіх зацікавлених організацій та висококваліфікованих фахівців науково-дослідних установ і вищих навчальних закладів міста.

Початкові дані одержують шляхом вимірювань на об'єктах шляхом використання інформації космічних апаратів, супутникового зв'язку, дистанційних засобів із використанням волоконно-оптичних приладів та з наземних класичних спостережень. В цифрову форму вони перетворюються на підприємствах, а потім результати передаються на відповідний сервер, де дані спочатку піддаються первинній обробці, а потім для узагальнення – на Головний сервер.

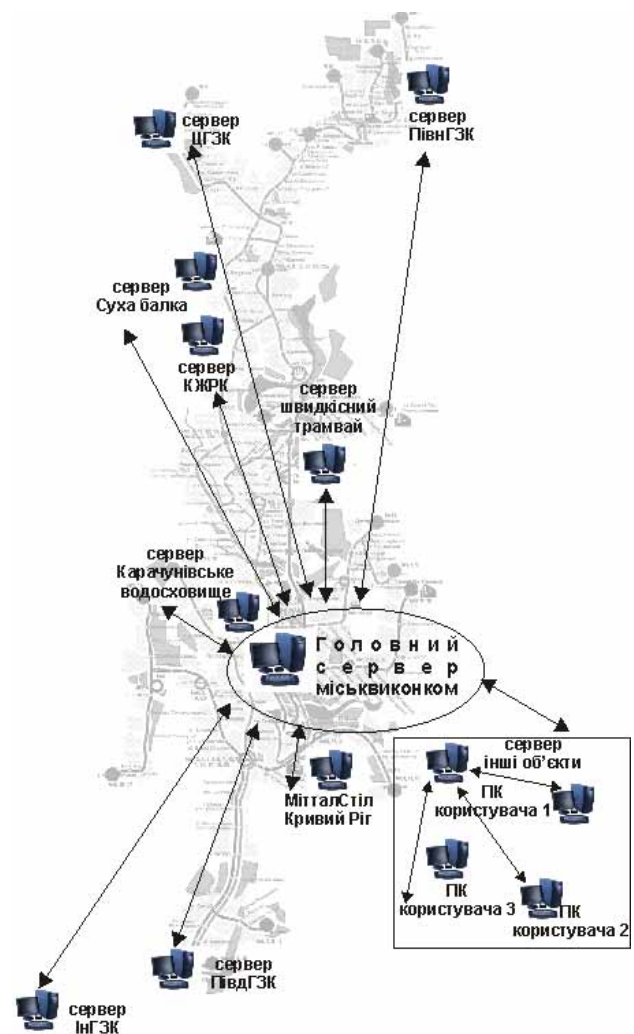


Рис. 2. Схема взаємодії елементів інформаційно-аналітичного сайту

На наступному етапі фахівці виконують автоматизовану обробку та узагальнення даних, аналізують результати та складають картографічну інформацію, поповнюють базу даних, займаються підготовкою науково-технічних звітів з метою виведення інформації до користувача (рис. 3). Центральною проблемою створення будь-якого автоматизованого банку даних є конструювання конкретної бази даних. У загальному випадку база даних є сукупністю даних, які відображають стан об'єкта або їх великої кількості, особливостей, властивостей і взаємостосунків. По суті, базу даних можна розглядати як інформаційну модель даного об'єкту, від обґрунтування, точності і достовірності якої залежить ефективність системи керування об'єктом.

Розробка основ організації і роботи сайту ІАЦ припускає, перш за все, створення інформаційної бази даних Криворізького регіону за такими напрямками моніторингу: «гірничодобувний комплекс» та «інші об'єкти». Елементами створення бази «гірничодобувний комплекс» повинні бути, в першу чергу, основні промислові об'єкти гірничодобувного комплексу Кривбасу: шахти, шламосховища, кар'єри,

відвали, водосховища, підприємства металургійного комплексу, транспортні, сантехнічні комунікації, а також діючі та законсервовані гірничі об'єкти (рис. 4). Причому, розділи накопичення інформації по окремих елементах обов'язково повинні містити інформацію про первинний стан району розміщення інженерного об'єкта (на момент його будівництва), стан його на даний момент (безпосередній стан) і прогноз розвитку процесів, що вивчаються.

З прикладом поповнення бази даних моніторингу об'єктів гірничодобувного комплексу (блок 1, рис. 4) можна ознайомитися розглянувши рис. 5. У блоці 2 «підсистеми моніторингу» (рис. 4) буде створюватися база даних за напрямками: моніторинг небезпечних екзогенних геологічних процесів (зсуви, обрушення, карст, просідання в лесових суглинках, підтоплення, ерозія ярів); моніторинг небезпечних ендегенних геологічних процесів (епіцентри землетрусів, локальні рухи земної поверхні) та інформація про прояви сучасних горизонтальних і вертикальних рухів земної поверхні з обов'язковим прогнозом розвитку вищезгаданих явищ.

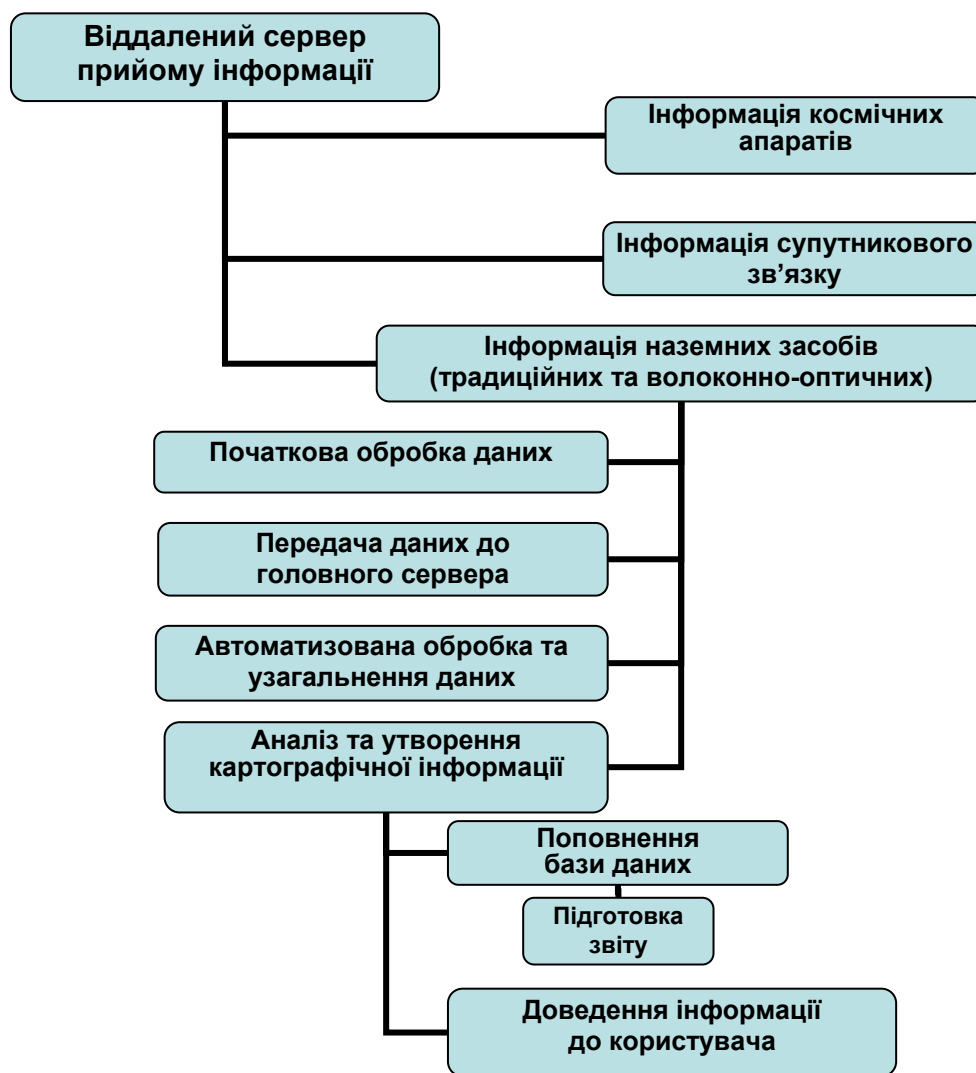


Рис. 3. Джерела одержання та послідовність доведення інформації до користувача

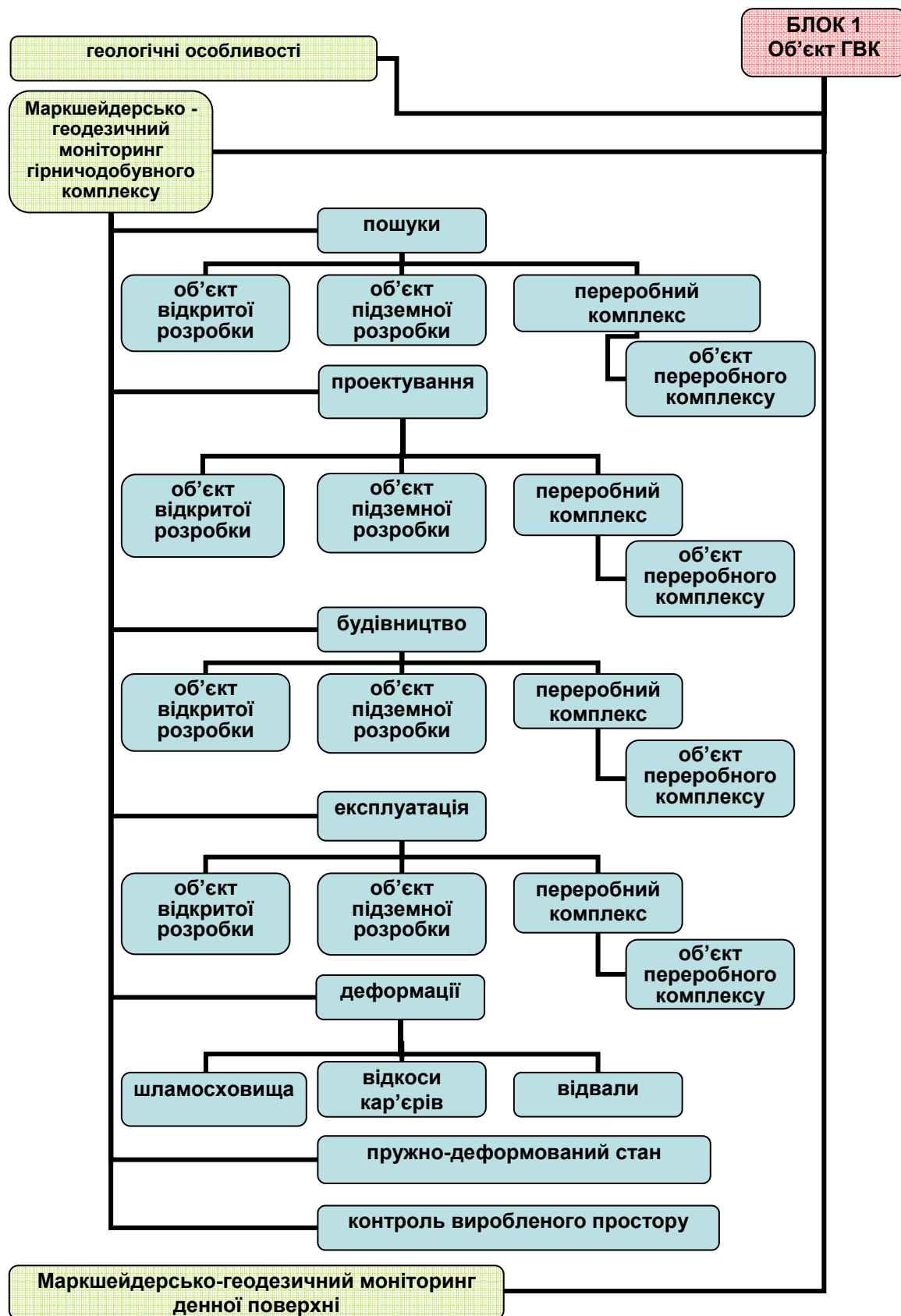


Рис. 5. Приклад організації моніторингу за об'єктом гірничодобувного комплексу (ГВК)

Як висновок, слід підкреслити основні переваги наведеної геоінформаційної системи. Система відповідає вимогам часу – відстеження напруженої геоди-

намічної обстановки гірничодобувного регіону зі складними геологічними умовами, прогнозування розвитку, перш за все, негативних процесів і давати ре-

комендації щодо ліквідації або зниження самих небезпечних з них. Вона може бути розрахована на широке коло користувачів, не вимагатиме дорогої комп'ютерної техніки. Технічні можливості геоінформаційної системи (ГІС) дозволять одночасно звертатися до різних інформаційних фондів, зіставляти необхідні інформаційні шари і, таким чином, проводити необхідний геодинамічний та екологічний аналіз. Кожний користувач зможе формувати свою групу шарів інформації з своїми стилями відображення. ГІС в цілому в подальшому зможе послугувати прообразом (аналогом) при створенні опорної екологічної ГІС м. Кривого Рогу.

Таким чином, збір і науково обґрунтована обробка інформації дозволить виконати оцінку загального стану довкілля в регіоні загалом і геологічного середовища зокрема. А саме, з'явиться можливість робити висновки про перспективи використання промислового або цивільного об'єкта, надасть можливість встановити економічну доцільність його застосування, а також дозволить забезпечити своєчасний контроль за його екологічно безпечною експлуатацією.

УДК 550.83

П.И. Пигулевский

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ОГТ

Розглянуто можливості застосування сейсморозвідки СГТ при вивченні глибинної будови південно-західної частини УЩ.

Рассмотрены возможности применения сейсморазведки ОГТ при изучении глубинного строения юго-западной части УЩ.

The opportunities of application of seismic investigation by a method of common deep point at research of the deep structure of southwest part of the Ukrainian shield are considered.

Введение. Проблема изучения внутреннего строения консолидированной коры сейсмическим методом связана с рассмотрением ряда фундаментальных физических и геологических задач. Основопологающей является задача создания компетентной физико-геологической модели среды, которая удовлетворяла бы основным детерминированным особенностям, экспериментально наблюдаемым волновым полям. Для осадочных бассейнов, при разведке сейсмическим методом нефти и газа, хорошо себя зарекомендовала горизонтально-слоистая модель с различными типами сейсмических границ. Для условий консолидированной коры (рудная и региональная сейсморазведка) очевидно, что горизонтально-слоистая модель не приемлема.

Анализ экспериментально наблюдаемых волновых полей, связанных с кристаллическим фундаментом, показал, что в ряде случаев прослеживаются до-

Список літератури

1. Осипов В. И. Мегаполисы под угрозой природных катастроф / В.И. Осипов // Вестник Российской академии наук. – М.: ИПУ РАН, 1996. – Т. 66, № 9. – С. 771-782.
2. Никонов А. А. Человек воздействует на земную кору / Никонов А. А. – М.: Знание, 1980. – 184 с.
3. Сидоренко В.Д., Куликовская О.Е. Совершенствование автоматизированной обработки и интерпретация маркшейдерско-геодезических данных для Криворожского региона / В.Д. Сидоренко, О.Е. Куликовская // Разработка рудных месторождений.– Кривой Рог: КТУ. – Вып. 80. – 2002. – С. 77-82.
4. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы / Новиков Д.А. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 102 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. П.Й. Федоренком 02.03.09

волны, формирующиеся вблизи контакта границ. Отсюда следует практический вывод, что в реальных условиях в волновом поле регистрируются оси синфазности, которые правомочно связывать с наклонными отражающими элементами. И хотя указанные оси синфазности не исчерпывают всех свойств волнового поля, их следует рассматривать как существенную его особенность, которая несет информацию о детерминированном строении среды. Таким образом, сейсмическая модель консолидированной коры должна включать в себя наклонные (крутонаклонные отражающие элементы).

Изучением теоретических основ и их применением при выполнении сейсморазведочных работ методом общей глубинной точки (ОГТ) при решении ряда геологических задач в пределах Украинского щита (УЩ) в ГПП «Днепрогеофизика» занимался главный геофизик, кандидат геолого-минералогических наук, Михаил Исаакович Бородулин. Автором этой публикации совместно с ним были выполнены исследования на ряде объектов. По некоторым из них материалы приводятся ниже, с надеждой, что полученные результаты могут заинтересовать молодых ученых продолжить начатые им разработки по решению этой проблемы.

Технология обработки сейсмических материалов. В начале 90-х годов она включала в себя несколько блоков, состоящих из программ, как составляющих комплекс СЦС-3, так и разработанных в государственном геофизическом предприятии (ГПП) «Днепрогеофизика» [1]. Блоки, разработанные в ГПП: коррекция статистических поправок и формирования временных разрезов с селекцией по углам наклона отражающих границ.

Эта технология обработки рудной и региональной сейсморазведки не исключала использования многих стандартных процедур комплекса СЦС-3. Граф обработки включал в себя шесть основных блоков:

- 1) блок предпроцессинга;
- 2) блок коррекции статистических поправок;
- 3) блок формирования временных разрезов ОГТ;
- 4) блок формирования временных разрезов с угловой селекцией отражающих границ;
- 5) блок динамического анализа и построения отражающих площадок;
- 6) блок моделирования.

Блок предпроцессинга включал процедуры, предназначенные для ввода исходных сейсмограмм с последующим радикальным повышением соотношения сигнал-помеха.

Блок коррекции статистических поправок – принципиально новый блок в графе обработки, разработанный в ГПП. Задача, стоящая перед этими процедурами, заключалась в определении фазовых сдвигов в сейсмических трассах с целью оптимизации суммирования при получении временных разрезов.

Блок формирования временных разрезов с угловой селекцией отражающих границ – принципиально новый блок в графе обработки.

Блок динамического анализа включал процедуры получения погоризонтальных оценок динамических параметров, мгновенных параметров и амплитудных динамических искажений. Построение отражающих площадок на глубинных сейсмических разрезах выполнялся программой сейсмического сноса.

Блок моделирования включал программы расчета характеристик направленности интерференционных систем и моделирования сейсмограмм и временных разрезов. Детально алгоритмы и программы, входящие в указанные выше блоки, описаны в методическом руководстве по рудной и региональной сейсморазведке ГПП «Днепрогеофизика» [1].

Особое внимание уделялось процедуре миграции, которая для условий консолидированной коры (сложно построенный высокоскоростной разрез) требует особого подхода и не имеет решения стандартными способами. Известно три основные методики реализации миграционной процедуры. Это спектральная, конечноразностная и интегральная методики. Значительный интерес представляет проблема выбора оптимальной для данных условий методики миграции.

В качестве альтернативной М.И. Бородулиным была предложена процедура кинематической миграции, которая заключается в следующем. На первом этапе выполнялась корреляция всех отражающих площадок вручную. На втором этапе определялись координаты этих площадок, которые совместно со скоростной кривой являлись входными данными для программы «SNOS». Принцип ее работы заключался в следующем. Строился итерационный процесс, определяющий положение площадки в разрезе при заданном скоростном законе. Процесс продолжался до тех пор, пока точность построения не достигала заданной величины. В результате получаем координаты площадок после кинематической миграции. Далее площадки по координатам наносились на мигрированный сейсмический разрез и с учетом полученных особенностей изучаемой модели среды трактовались полученные результаты.

Работы по этой технологии обработки ОГТ были выполнены в пределах юго-западной и юго-восточной частей УЩ [2, 3].

Все глубинные разрезы по профилям 1-АЭС и 2-АЭС (рис. 1) построены по данной методике. Хотя процедура кинематической миграции являлась полуавтоматической и требовала больших трудозатрат, она не вносила искажений при определении отражающих площадок после миграции. Полученные мигрированные сейсмические разрезы далее подвергались геологической интерпретации.

Скоростная характеристика земной коры и верхней мантии. В пределах юго-западной части УЩ (Среднебугский и Ингульский мегаблоки, Голованевская шовная зона) скоростная характеристика земной коры и верхней мантии по профилям 1-АЭС и 2-АЭС не изучалась, так как по материалам ОГТ эта

задача принципиально не решается. Для выполнения построений в методе ОГТ использовались зависимости средней скорости от глубины, полученные при интерпретации материалов ГСЗ по геотраверсам VI и VIII [4]. Как показывают расчеты, пластовые скорости в консолидированной коре слабо растут с глубиной и на уровне 33-35 км не превышают значений 6,5 км/с. В нижней части коры в интервале глубин 35-40 км отмечается увеличение скорости до 7,2 км/с. Поверхность мантии характеризуется нормальной граничной скоростью 8,1 км/с, исключение составляет погруженная часть Одесско-Ядловской зоны, где граничная скорость достигает значений 8,4 км/с. Средняя скорость на уровне поверхности мантии достигает значений 6,5 км/с ± 0.1 км/с и мало изменяется по площади УЩ. Скорости внутри мантии изучены слабо.

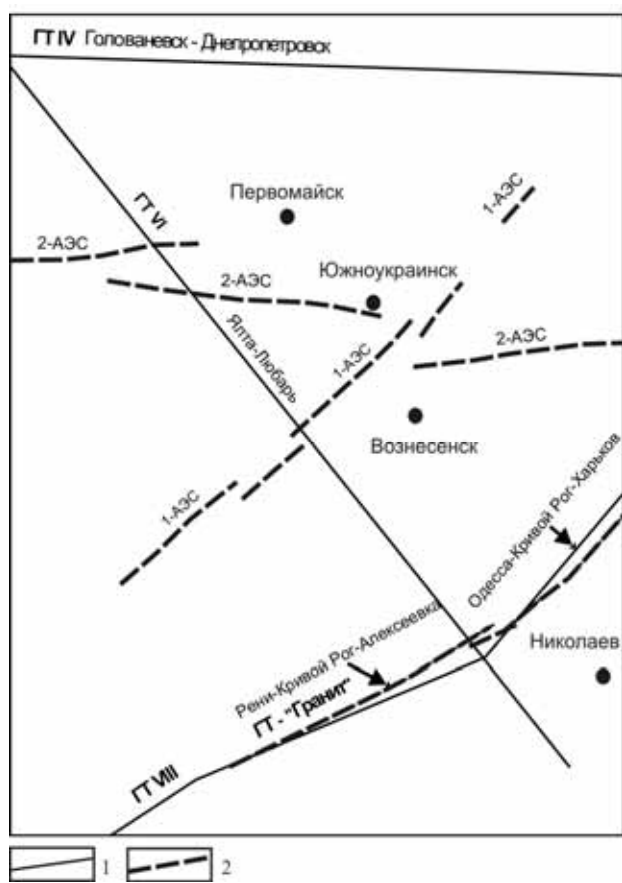


Рис. 1. Схема сейсмической изученности района Южноукраинской АЭС: 1 – сейсмические профили (геотраверсы) ГСЗ; 2 – сейсмические профили ОГТ

Глубинное строение юго-западной части УЩ по данным сейсморазведки. Голованевская ШЗ расположена в центральной и юго-западной части УЩ вблизи границы Восточно-Европейской платформы. По мнению В.Б. Соллогуба [4], эта граница повсеместно приурочена к совокупности глубинных разломов, образующих тектоническую зону между платформой и Среднеземноморским складчатым поясом. Ее ширина – не менее 200-250 км. Структура литосфе-

ры в зоне сочленения платформы с Среднеземноморским поясом образовалась, по-видимому, в результате подвижек блоков литосферы в северо-восточном направлении, т.е. в сторону древней платформы. Это предположение, основанное на материалах ГСЗ, положено в основу интерпретации материалов глубинного ОГТ, выполненного при исследованиях сейсмичности промплощадки Южноукраинской АЭС [2].

В качестве новых данных, полученных в результате исследований глубинного ОГТ по профилям 1-АЭС и 2-АЭС (рис. 2, 3) и переинтерпретации материалов ГСЗ по геотраверсу IV и VI, существенное значение имеет выделение на уровне глубин 60-90 км отражающих элементов субгоризонтального залегания, которые прослежены в зоне сочленения платформы с геосинклиналью [2, 4]. Севернее зоны (геотраверс IV) эти границы не зарегистрированы. Судя по их структурному положению, можно предположить, что они соответствуют астеносфере (протоастеносфере).

Известно, что уверенное определение астеносферного слоя может быть проведено на основе трех критериев: структурного положения слоя; пониженного значения сейсмических скоростей в слое и повышенного теплового потока.

По имеющимся в настоящее время данным повышенный тепловой поток в исследуемой части УЩ не отмечен. Однако структурное положение слоя (глубина и субгоризонтальная форма) позволяют предполагать, что он, вероятно, соответствует протоастеносфере. Как видно на рис. 2, 3, между переходной зоной кора-мантия (граница Мохоровичича – М) и астеносферой намечается положение еще одной группы отражающих элементов, объединенных условно в границу Бородулина – Б, который первым ее выделил [2]. Граница Б залегает, практически горизонтально, пересекая поверхность М в местах ее погружения. По отношению к астеносфере граница Б характеризуется согласным залеганием. Эти структурные особенности позволяют предположить, что граница Б может рассматриваться также как реликт астеносферы. По-видимому, она характеризует наиболее древнее ее положение.

О строении астеносферы в пределах Украины имеется мало информации. Все имеющиеся сведения по состоянию на 1985 г. проанализированы В.Б. Соллогубом и представлены в виде структурной схемы верхней мантии в масштабе 1:5 000 000 [4]. Согласно этой схеме Голованевская ШЗ и Ингульский мегаблок расположены в области повышенной глубины залегания поверхности астеносферы (до 200-250 км), определенной по тепловому потоку. Сравнение результатов интерпретации теплового потока и сейсморазведки ОГТ заставляет отдать предпочтение варианту, связывающему сейсмический слой на глубине 60-90 км с протоастеносферой [2].

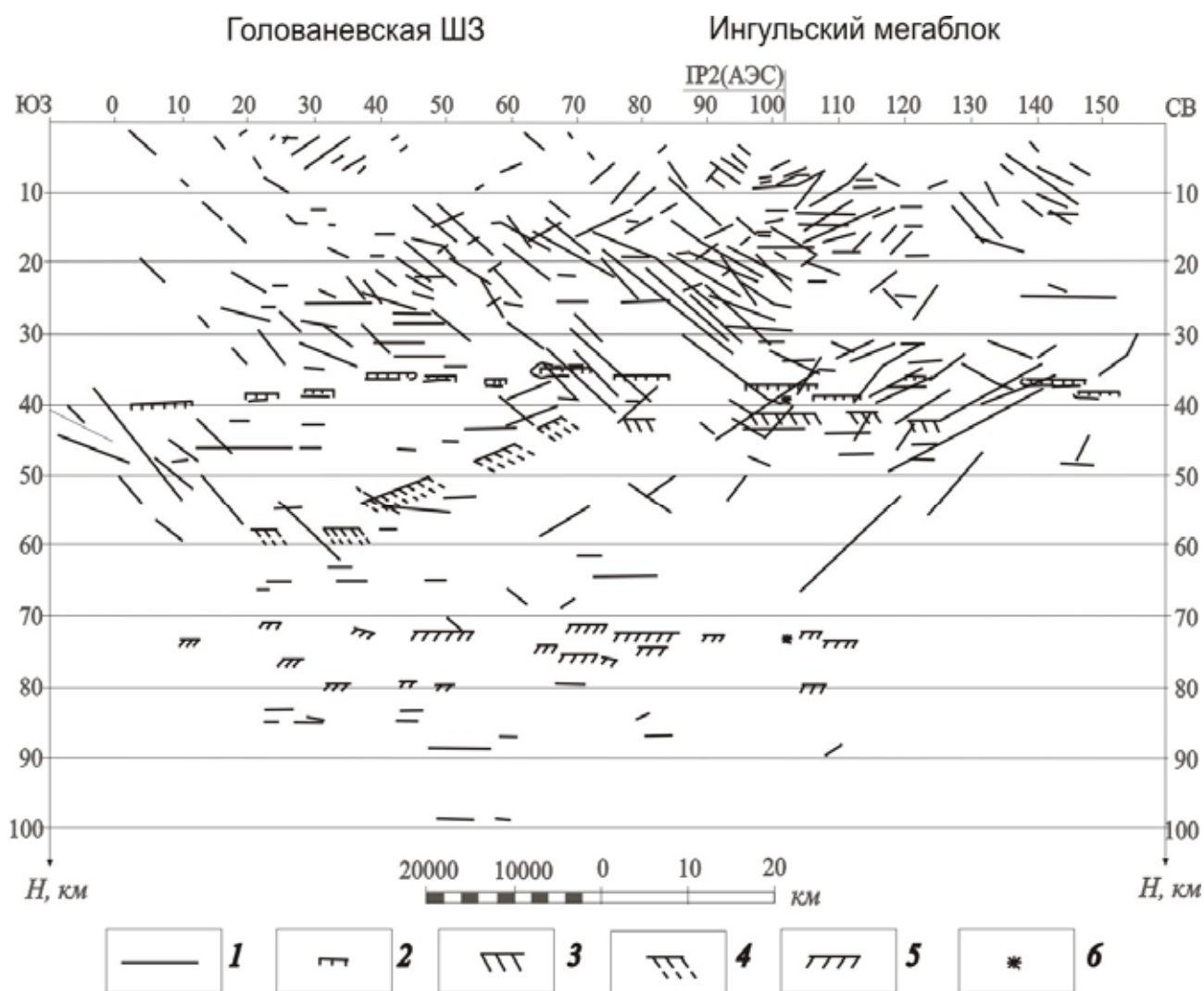


Рис. 2. Сводный сейсмогеологический разрез по профилю 1-АЭС: 1 – отражающие элементы; 2 – кровля переходной зоны кора-мантия; 3 – поверхность Мохоровичича по данным ОГТ; 4 – граница, отождествляемая с поверхностью Мохоровичича, на основании материалов ГСЗ; 5 – поверхность протоастеносферы (предположительно); 6 – глубина до соответствующих границ в точках пересечения профилей

Многие исследователи [3-5] не без основания считают, что тектоническая активность литосферы определяется процессами, проходящими в астеносфере. Одним из критериев активности астеносферы является глубина ее залегания. Чем меньше глубина, тем активность выше. Таким образом, Голованевская ШЗ может рассматриваться как область активной астеносферы в прошлом и пассивной в наше геологическое время.

Изучение литосферы методом глубинного ОГТ поставило по-новому вопрос о границе перехода кора-мантия. Из материалов ОГТ следует, что эта граница представлена переходной зоной переменной мощности. В области нормальной коры мощностью до 40 км мощность переходной зоны кора-мантия колеблется в пределах 2-4 км. В Одесско-Ядловской зоне (Среднебугский мегаблок), где мощность коры достигает по данным ГСЗ 60 и более км, мощность переходной зоны кора-мантия определяется неоднозначно. С уверенностью можно

утверждать, что ее величина достигает значений 10-25 км (рис. 2, 3). При резко увеличенной мощности переходной зоны кора-мантия в Одесско-Ядловской зоне глубина до ее поверхности по данным ОГТ практически не изменяется по отношению к областям с нормальной корой, т.е. глубина до поверхности коро-мантийного слоя во всем районе проведенных исследований ОГТ остается постоянной.

В волновых полях, зарегистрированных по профилям 1-АЭС и 2-АЭС четко выделены оси синфазности, соответствующие наклонным отражающим элементам. Как правило, это многофазные группы сложной структуры. На основании пространственной корреляции, исходя из тектонической обстановки, наклонные границы относятся к тектоническим нарушениям (рис. 2, 3). Наиболее четко наклонные границы фиксируются в Одесской, Ряснопольской и Братской структурах; они прослежены через всю земную кору до поверхности

кора-мантія а в ряду случаев и в верхней мантии до протоастеносферы.

Как правило, отраженные волны от наклонных границ характеризуются высокой интенсивностью и относительно повышенным частотным спектром. Эти свойства волн нельзя объяснить отражениями от простых границ первого рода (резкий перепад скоростей) или градиентных зон. Эти свойства согласуются с модельными расчетами для тонкослоистых инверсионных пачек (переслаивание слоев с повышенными и пониженными скоростями) [5].

Особой густотой отражающих элементов и большой протяженностью характеризуются две

группы отражающих элементов в районе Рязнопольской структуры (рис. 2, 3). Эти группы границ прослеживаются через всю земную кору и частично захватывают верхнюю мантию. Исследования земной коры и верхней мантии методом ОГТ позволили подойти к интерпретации сейсмических границ с позиции тектонофизики. Согласно этому подходу отражающие границы рассматриваются как разрывные нарушения, а их распределение в разрезе связывается с деформационно-прочностными свойствами пород и характером полей напряжений [5].

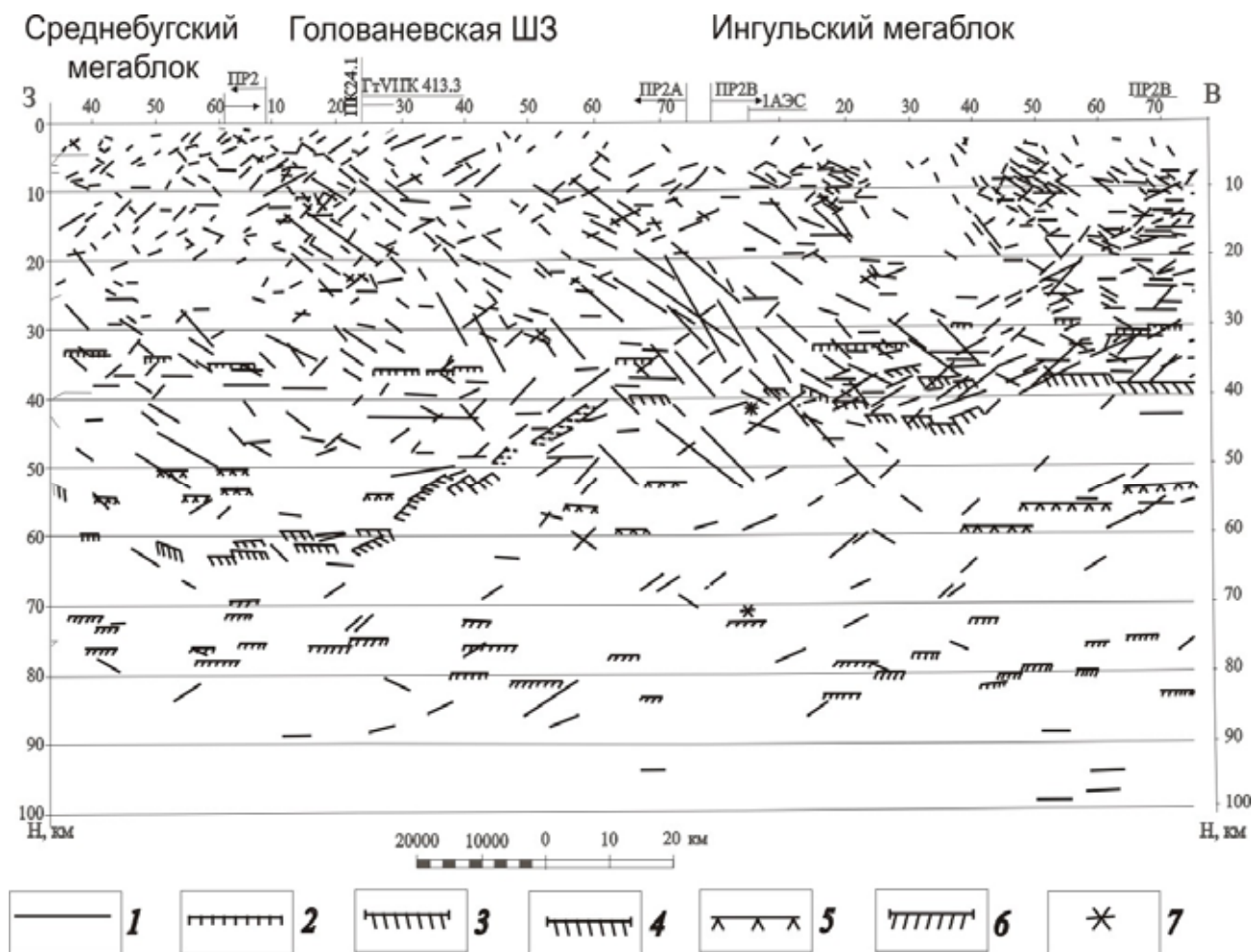


Рис. 3. Сводный сейсмогеологический разрез по профилю 2-АЭС: 1 – отражающие элементы; 2 – кровля переходной зоны кора-мантія; 3 – поверхность Мохоровичича по данным ОГТ; 4 – граница, отождествляемая с поверхностью Мохоровичича, на основании материалов ГСЗ; 5 – граница в нижней части литосферы – Б; 6 – поверхность протоастеносферы (предположительно); 7 – глубина до соответствующих границ в точках пересечения профилей

Реализация теоретических принципов тектонофизики применительно к рассматриваемой группе наклонных элементов в коре и мантии позволяет считать, что геологически она соответствует структуре подвигания блоков литосферы в северо-восточном и северном направлениях, а зона наклонных границ в коре и мантии соответствует наклонному глубинному разлому.

Факт высокой отражающей способности континентальной литосферы сам по себе свидетельствует о наличии в верхней мантии участков с пониженной прочностью. Изучение физических свойств пород при высоком давлении и соответствующих РТ-условиях показало, что отражающая способность континентальной литосферы является функцией ее способности к образованию

сдвиговых потоков (течений), что связывается с пластичностью (слоистостью) вещества мантии. Рассматривая с указанных позиций юго-западную часть УЩ, можно предположить, что она находится (или находилась) в зоне с особыми РТ-условиями, благоприятными для образования в мантии сдвиговых потоков. Открытым остается вопрос о времени образования слоистости в верхней мантии либо это особенность современного развития, или реликт более ранних этапов.

Из предположения о наличии в верхней мантии сдвиговых потоков следует, что в консолидированной коре должны образовываться структуры типа поддвигов (надвигов). Результаты исследований ОГТ по профилям 1-АЭС и 2-АЭС показали, что в консолидированной коре и в верхней мантии до глубин порядка 60 км прослеживается зона отражающих элементов с углами падения на восток и северо-восток 40-50° и шириной около 40 км. Выделены также сопряженные зоны отражающих элементов с падением на юго-запад.

Таким образом, при исследованиях ОГТ выделены все необходимые структурные элементы, чтобы рассматривать общее тектоническое положение Голованевской ШЗ с позиции тектоники плит.

Анализ структуры верхней мантии показывает, что на глубинах до 70-90 км (т.е. в астеносфере) отмечаются наклонные отражающие элементы. Последнее возможно лишь в случае нахождения вещества в упругом, а не пластичном состоянии. Это дает основание предполагать, что выделенный слой на глубинах 70-90 км является протоастеносферой. О времени образования основных элементов структуры консолидированной коры можно судить из общих геологических соображений. Вероятно, образование структуры Голованевской ШЗ относится к палеопротерозою, а зоны сочленения платформ-геосинклиналь относится к неопротерозою.

Выводы

Используемая в начале 90-х годов в рудной и региональной сейсморазведке модель среды в значительной степени отличается от модели, применяемой в нефтяной сейсморазведке. Наиболее принципиальными являются следующие особенности:

1. Высокие скорости распространения упругих волн до 5,7 км/с. Это определяет слабое влияние кинематических поправок ОГТ (стандартный подход) и весьма значительный горизонтальный снос в миграционных процедурах.

2. Скоростные неоднозначности весьма незначительны, что дает предпосылки для корректного использования борновского приближения при решении обратных задач сейсморазведки.

3. Сложнопостроенная модель среды, с крутопадающими (до 70°) разнонаклонными фрагментарными горизонтами. Это приводит к сложной интерпретационной картине на временных разрезах. Крутопадающие оси синфазности определяют еще большее

увеличение скорости ОГТ. Фрагментарность осей синфазности определяет ужесточение требований и их затяжке при формировании разрезов.

4. Отсутствие опорных отражающих горизонтов для коррекции статистических поправок.

Технология обработки материалов сейсморазведки целиком определяется принятой моделью среды. Задача заключается в максимальном повышении соотношения сигнал-помеха на этапе предпроцессинга, выделения фрагментов осей синфазности на временных разрезах, их построения и интерпретации. На каждом этапе обработки учитываются особенности принятой модели среды и с их привлечением трактуются промежуточные результаты.

Для ряда районов УЩ, как показал опыт, сейсмическая модель консолидированной коры с разноориентированными крутопадающими и горизонтальными границами позволяет получить хорошие результаты. По сложившемуся на начало 90-х годов мнению, дальнейшее усложнение гетерогенной модели среды [6] было преждевременно из-за недостаточности развитого в то время аппарата расшифровки волнового поля и его компьютерной обработки и интерпретации. Современная аппаратная и компьютерная база в совокупности с новейшими пакетами обработки геофизической информации показывают, что еще не исчерпаны все возможности указанной модели и необходимы специальные опытно-методические исследования для развития метода с позиций гетерогенной модели. Более детальное изучение структуры земной коры позволит дифференцированно подходить к оценке исследуемых геологических регионов на протекание различных геологических процессов в них, и, соответственно, выполнять более достоверный прогноз на различные виды полезных ископаемых.

Список литературы

1. Бородулин М.И., Стовас А.М. Методическое руководство по рудной и региональной сейсморазведке. – Д., Фонды ГПП «Днепрогеофизика», 1990. – 42 с.
2. Пигулевский П.И. Результаты дополнительных геофизических исследований района Южноукраинской АЭС: Отчет о НИР за 1989-1992 гг. – Д., Фонды ДПП «Днепрогеофизика», 1992. – 249 с.
3. Геолого-геофизическая модель Голованевской шовой зоны Украинского щита / Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б. и др. – Донецьк: Вебер, 2008. – 305 с.
4. Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы IV, VI, VIII / Отв. ред. В.Б. Соллогуб. – К.: Наук. думка, 1988. – 172 с.
5. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М. Наука, 1975. – 236 с.
6. Караев Н.А. Сейсмический метод отраженных волн в рудных районах. Методическое руководство. Л.: Недра, 1982. – 308 с.

Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. О.Д. Додатком 24.04.09

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГРАНИТОВ НА МОБИЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ ТРАНСЛЯЦИОННОГО СКОЛЬЖЕНИЯ В КВАРЦЕ

Встановлено, що найбільший вплив на мобільність системи кристалічного ковзання в зернах кварцу надає число потенційних площин трансляції (від 2 до 6) паралельних і перпендикулярних до напрямку зсувних горизонтальних зусиль у гранітному масиві.

Установлено, что наибольшее влияние на мобильность системы кристаллического скольжения в зернах кварца оказывает число потенциальных плоскостей трансляции (от 2 до 6) параллельных и перпендикулярных к направлению сдвигающих горизонтальных усилий в гранитном массиве.

It is set that most influence on mobility of the crystalline sliding system in the grains of quartz renders number potentially planes of translation (from 2 to 6) of parallel and perpendicular to direction moving horizontal efforts in a granite massif.

Введение. Гранитоиды, занимающие по площади не менее 75% территории Украинского щита, образуют совместно с мигматитами сплошные поля в сотни и тысячи квадратных километров. Считают, что генезис гранитоидов происходил в различной тектонической обстановке [1], то есть это геосинклинальные или платформенные образования, магматический материал которых кристаллизовался либо *in situ*, либо интродировал по глубинным разломам на различные расстояния (в пределах одной термодинамической зоны или в более высокие горизонты).

Вне зависимости от особенностей генезиса все гранитоиды Украинского щита по данным парагенетического анализа разделяют на глубинные ($T = 700-800^\circ \text{C}$, $P = 700-800 \text{ МПа}$) и среднеглубинные ($T = 600-700^\circ \text{C}$, $P = 300-400 \text{ МПа}$).

Необходимо отметить, что P - T -условия образования гранитоидов существенно влияют на их металлогению. В тех случаях, когда формирование таких пород проходит при средних и высоких температурах и давлениях, перераспределение элементов-примесей с концентрацией их в зоне ультраметаморфизма не происходит, в то время как многофазные интрузии малых глубин более перспективны на рудоносность. По этой причине рекомендовано поисковые работы на рудопроявления с повышенным содержанием металлов, редких и рассеяных элементов, пространственно связанных с гранитоидами, производить в первую очередь на участках проявления интрузий малых глубин и в районах развития относительно низкотемпературного регрессивного метаморфизма, протекающего на уровнях эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой метаморфических фаций [1].

Термодинамические параметры образования гранитной магмы определяют на основании изучения первичных (расплавных) газовой-жидких включений методами термобарогеохимии (ТБГХ) [2]. Основными недостатками метода ТБГХ помимо высокой сложности являются объективные и субъективные трудности при идентификации (множество критериев для отнесения включений к первичным, вторичным и

мнимовторичным) и, как следствие, геологической интерпретации включений, а также значительные ошибки при определении температур и давлений (т.е. собственно P - T -условий образования), обусловленные несовершенством используемых методик и аппаратуры [3].

К сожалению, в настоящее время других способов определения P - T -условий образования гранитоидов, кроме методов ТБГХ, не имеется. Поэтому для более надежной интерпретации данных ТБГХ представляется целесообразным воспользоваться методом микроструктурного анализа ориентированных образцов гранита, поскольку, как показывают многочисленные исследования, режим кристаллизации гранитоидов (P - T -условия и тектоническая обстановка) закономерно взаимосвязан с мобильностью системы кристаллического скольжения в кварце – одного из главных породообразующих минералов гранитоидов, что отражается в характере пространственного распределения его кристаллической решетки.

Анализ состояния проблемы. Вопрос о влиянии режима кристаллизации гранита, в частности, одностороннего давления на ориентировку кристаллической решетки одного из его главных породообразующих минералов – кварца, активно обсуждается с 1816 года. Наиболее полный анализ публикаций, посвященных данной теме, а также результаты собственных исследований приведены в работах Х.В. Ферберна [4], Н.А. Елисеева [5] и Г.Д. Ажгирея [6]. Авторами делается основной вывод о том, что кристаллическая решетка данного минерала наиболее чутко реагирует на любые изменения тектонической обстановки в процессе формирования гранитов. Поэтому изучение пространственного положения оптических осей кварцевых зерен позволяет определять динамику деформации кристаллической породы, то есть устанавливать ориентировку плоскостей ламинарного (трансляционного) скольжения, вычислять пространственные координаты главных осей деформации и направление тектонических движений и вы-

яснять геологические условия образования того или иного типа ориентировки.

Отмечено также, что обычно легко устанавливаемая Федоровским методом в шлифах исследуемой горной породы [4,5] по пространственному положению оптических осей ориентировка кристаллической решетки кварца весьма разнообразна. Например, Х.В. Ферберн выделяет 12 типов такой ориентировки, Г.Д. Ажгирей – 4. По этой причине интерпретация структурной диаграммы, составленной по кварцу, весьма затруднительна. Многочисленные попытки найти теоретическое объяснение появлению разнообразных узоров ориентировки кристаллической решетки кварца не имели особого успеха в понимании механизма трансляционного скольжения при деформировании данного минерала в кварцосодержащих горных породах.

Отсутствие заметного прогресса при анализе структурных диаграмм, обусловленного, по мнению автора настоящей статьи не столько разнообразием ориентировки кристаллической решетки кварца по отношению к направлению ламинарного скольжения (трансляции) [6], а скорее использованием статистически необоснованных методов составления и обработки таких диаграмм, что неизбежно привносило элемент субъективизма исполнителя в этот процесс и приводило, как правило, к абсурдным результатам. В итоге, интерес петрологов к микроструктурному анализу деформированных кварцосодержащих пород существенно снизился. Уже в конце 70-х годов число публикаций по ориентировке кварца в гранитах уменьшилось в 2 раза по сравнению с предыдущим десятилетием, а в 90-х годах прошлого столетия и в начале нынешнего результаты исследований по данному вопросу в зарубежной и отечественной литературе практически не приводились. Вызывает, по меньшей мере, удивление тот факт, что еще в 1958 году советским ученым А.Б. Вистелиусом была опубликована монография [6], в которой изложена методика составления и обработки структурных диаграмм, основанная на применении строго обоснованных с точки зрения математической статистики и теории вероятностей приемов изучения пространственного распределения ориентированных величин (векторов). Применение данной методики обеспечивало получение достоверных и исчерпывающих сведений о положении в пространстве таких объектов, в том числе и оптических осей кварца, при этом ориентировку исследуемых направлений можно было оценивать количественно с помощью различных статистических критериев. Кроме того, полностью исключалось привнесение элемента субъективизма в процесс интерпретации структурных диаграмм, при этом обеспечивалась высокая надежность и стопроцентная повторяемость результатов исследований.

Однако многие петрологи по-прежнему использовали для построения и интерпретации структурных диаграмм теоретически необоснованные методы [8, 9], что продолжало приводить к серьезным ошибкам. В результате вопрос о происхождении ориентировки

кристаллической решетки кварца в деформированных горных породах был окончательно запутан. Возможно, именно по этой причине возникли существенные расхождения в толковании основополагающих терминов и понятий, которыми оперировали в микроструктурном анализе. Пример тому, взаимно перпендикулярные оси Зандера [10] a , b и c , введенные им взамен обычных осей X , Y и Z в системе прямоугольных координат. Согласно Зандеру ось a отвечает направлению движения вещества в деформируемой горной породе и обычно совпадает с *линейностью* порообразующих минералов. В монографии Ферберна [4] на схематической диаграмме расположения осей в зернах кварца, характеризующей 12 типов ориентировки решетки, свойственной тектонитам, «...направление b во всех случаях указывается *линейностью*». Н.А.Елисеев [11] среди горных пород различного происхождения в зависимости от характера дифференциальных движений выделяет «*тектониты*» и «*ложные тектониты*». При этом «тектониты» подразделяются на *S-тектониты* (движение по одной системе плоскостей), *B-тектониты* (движение по двум системам круговых сечений эллипсоида деформаций), *R-тектониты поясные* (движение по системе плоскостей вокруг оси вращения) и сложные (комбинированные) тектониты. К числу «*ложных тектонитов*» относятся несцементированные осадки и все изверженные горные породы с текстурой течения, т.е. так называемые тектониты плавления. Г.Д. Ажгирей *S-тектонитами* считает только те, в которых оптическая ось, совпадающая с удлинением минерала, лежит в плоскости скольжения ab и параллельна оси a . К *B-тектонитам* он относит горные породы, в которых вращение во время деформации происходило вокруг оси b , а *R-тектониты* вообще не выделяет [6].

В этой связи возникают сомнения в корректности результатов микроструктурных исследований гранитов, приведенных в некоторых работах. Одни авторы относят граниты к *B-тектонитам* [12], другие – к *S-тектонитам* [13]. Делаются выводы о том, что граниты являются типичными *R-тектонитами* [14] и даже *правильными S-, B- и R-тектонитами* [15]. Возникает вопрос. Если есть так называемые «*правильные*» тектониты, то должны существовать и «*неправильные*» тектониты? На этот вопрос ответа не имеется, поскольку авторы приведенных выше работ об этом умалчивают.

Нет также единого мнения по вопросу трансляции в кварце при деформации горных пород. А. Хитенен [5] считает, что трансляция в кварцевых зернах осуществляется параллельно граням призмы, по мнению Ферберна дифференциальные движения в этом минерале происходят параллельно граням базопинакоида $\{0001\}$ ромбоэдров $g \{10\bar{1}1\}$ и $z \{01\bar{1}1\}$. Зандер [5] установил, что трансляция в кварце совершается параллельно плоскостям ромбоэдра $\omega \{01\bar{1}3\}$ или $\pi \{01\bar{1}2\}$. Следует отметить, что ромбоэдр ω , согласно классификации простых форм для кварца, приведенной в справочном издании Дж. Дэна [16], в природе

практически не встречается, отрицательный ромбоэдр π также не упоминается в числе часто встречающихся форм. Р.Ю. Орлов [17] полагает, что скольжение (трансляция), обусловленное особенностями деформации кварца, «...происходит не только вдоль ребра $[m:g]$, как считал Ферберн, но и по другим направлениям, соответствующим различным граням кристалла кварца, например, $\{10\bar{1}9\}$, $\{\bar{1}013\}$, $\{01\bar{1}2\}$ и др.». Из приведенной выше цитаты следует, что автор данной работы не находит существенной разницы между ребром и гранью кристалла. Однако направление трансляции вдоль ребра, если она имеет место, всегда строго определено, в плоскости грани кристалла различных направлений трансляции теоретически может быть бесконечно много. К тому же, обращаясь опять-таки к Дж. Дэна, можно констатировать тот факт, что граней с такими индексами Браве, как $\{10\bar{1}9\}$ и $\{\bar{1}013\}$ в кристаллах кварца, просто не существует, что же касается ромбоэдра π с индексами $\{01\bar{1}2\}$, то, как уже упоминалось выше, эта грань встречается довольно редко.

Предпринимались попытки теоретически проверить гипотезы, предполагающие связь развития предпочтительной ориентировки минералов (т.е. ориентировки по строению) в условиях приложенных деформационных сил с изменением упругой деформации [18]. При этом рассчитывалась энергия деформации для различной степени ориентировки кристаллов кварца при допущении, что имела место линейная упругость.

Влияние температуры изучалось путем измерения упругих констант при T выше и ниже $\alpha \leftrightarrow \beta$ перехода кварца. Расчетные данные сопоставлялись с предпочтительной ориентировкой кварца, полученной в лаборатории при известной температуре и направлении приложенных сил, а также с природной ориентировкой кварцевых зерен в тектонитах. Ориентировка главных осей напряжений и деформаций устанавливалось на основании симметрии макро- и микроструктур. Эксперименты показали, что ни одна из известных гипотез не согласуется с предпочтительной ориентировкой, возникающей в лабораторных условиях или в натуре.

Цель работы – исследование влияние режима кристаллизации гранитов на мобильность системы трансляционного скольжения в кварце.

Методика и результаты исследований. При исследовании мобильности системы трансляционного скольжения в гранитах применялись методы микроструктурного анализа кристаллических горных пород, а также современные методы математической статистики данных о пространственном распределении ориентированных величин (линейности агрегатов минеральных зерен ориентировке оптических осей минералов, плоскостей микротрещин и др.).

Автор настоящей статьи, исследуя ориентированные образцы пород, отобранные из разновозрастных и значительно удаленных друг от друга массивов [19, 20], обнаружил, что структурные особен-

ности, обуславливающие способность гранитов раскалываться под действием нагрузки в строго определенном направлении, т.е. кливаж или *rift*, а именно однонаправленные плоскости газовой-жидких включений в зернах кварца и линейно-плоскостная ориентировка агрегатов минеральных зерен, присущи практически всем магматическим, а также палингенным гранитоидам. В результате выполненных структурных исследований ориентированных образцов гранитоидов, отобранных на ряде массивов Украины (докембрийские граниты, Украинский щит), России (девонские граниты Джойского интрузивного комплекса, Хакасская АР), Индии (протерозойские граниты Хайдарабадского гранитного массива, штат Андхра-Прадеш), а также анализа некоторых данных тектонического строения Западной Австралии (район Марбл Бар) была установлена новая, неизвестная ранее, закономерность пространственного распределения в гранитах кварца зерен и дефектов его строения [19, 20].

Сущность данной закономерности, обусловленной воздействием на застывающий массив силы Кориолиса, заключается в том, что в кварце гранитов субвертикальные «залеченные» микротрещины (плоскости газовой-жидких включений – ГЖВ) образуют с направлением вектора линейности кварцевых агрегатов постоянный угол, среднее значение которого составляет $35 \pm 5^\circ$, причем для Северного полушария Земли величина данного угла имеет отрицательное значение, а для Южного – положительное.

Установлено, что простирание системы вертикальных трещин разрыва Q (номенклатура Г. Клооса [4, 6]) в гранитах совпадает с простиранием системы «залеченных» интрагранулярных микротрещин в зернах кварца.

В работах [19, 20] кроме того, был рассмотрен механизм образования первичных трещин в гранитных массивах в условиях деформаций плоскопараллельного сдвига. В частности, отражена роль таких факторов, как свойства расплава при различных P - T параметрах, действие сил Кориолиса, фазовый $\alpha \leftrightarrow \beta$ переход в кварце и др., совокупное влияние которых приводит, в итоге, к развитию в горной породе ориентированной макроструктуры (пространственному распределению микро- и микротрещин, линейности агрегатов минеральных зерен и аномалии гравитационного поля над гранитными массивами).

Вопросы теории развития ориентированных структур гранитоидов рассмотрены в [21]. Изучение микроструктуры этих пород с помощью универсального столика микроскопа показало, что ориентировку по внутреннему строению в процессе формирования гранитных массивов приобретает лишь кварц. Остальные породообразующие минералы (полевые шпаты, слюды, магнетит и др.) обладают ориентировкой по форме зерен, которая является следствием вязкого течения магмы (в гранитах) или мигмы (в мигматитах).

При исследовании газовой-жидких включений в породообразующих минералах методами ТБГХ уста-

новлено, что кристаллизация магмы (солидус) начинается в интервале температур 750-1050° С и давлений 150-800 МПа [22]. На диаграмме P - T -условий образования магматических пород гранитного состава (рис. 1) видно, что вязкость расплава при таких термодинамических параметрах составляет 10^2 - 10^5 П, что еще вполне достаточно для поддержания в расплаве тепловой конвекции Рэлея-Бенара [23], начавшейся в условиях ликвидуса ($T > 1050^\circ$ С, $P = 150$ -800 МПа).

Однако течение расплава при этом уже не соответствует характерной для условий ликвидуса модели ньютоновской жидкости, когда напряжение сдвига τ прямо пропорционально коэффициенту сдвиговой вязкости η и градиенту скорости течения расплава v . Это объясняется тем, что по мере охлаждения расплава увеличивается концентрация суспендированных в нем частиц, т.е. кристаллов и агрегатов минеральных зерен. В результате резко возрастает вязкость суспензии (рис. 1).

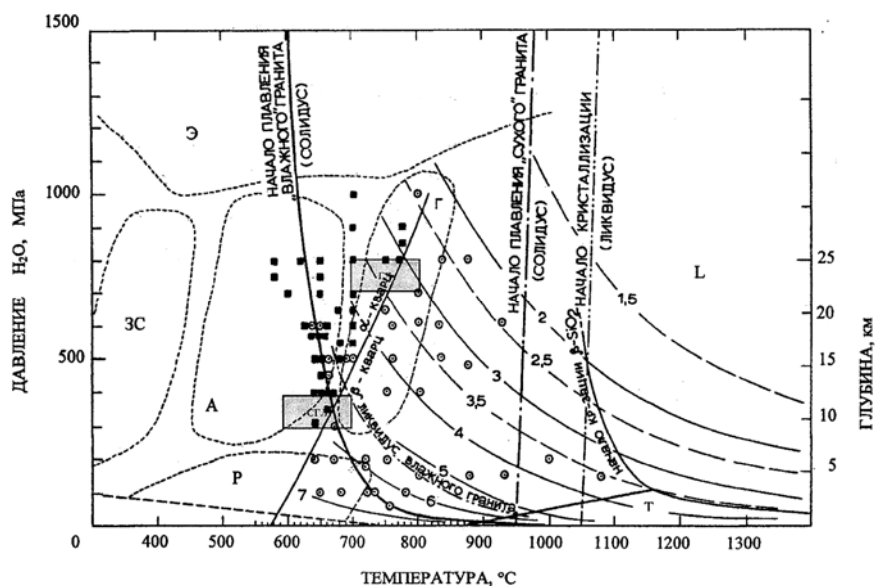


Рис. 1. Диаграмма P - T условий образования магматических и метаморфических пород гранитного состава ($P_{\text{общ}} = P_{\text{H}_2\text{O}}$): светлые кружочки – P - T условия образования ГЖВ в кварце гранитов; темные квадратики – то же для мигматитов; затемненные прямоугольники P - T условия образования глубинных (ГЛ) и среднеглубинных (СГЛ) гранитоидов; кривые с цифрами – изологарифмы вязкости расплава; области, ограниченные пунктирными линиями – фации метаморфизма: 3С – зеленосланцевая, Р – роговиковая, А – амфиболитовая, Г – гранулитовая, Э – эклогитовая; L – расплав, Т – тридимит

В субсолидусных условиях ($P = 150$ -160 МПа, $T = 650$ -800° С) течение суспензии для гранитов, вероятнее всего, соответствует модели Бингама [24]. Свойства бингамовской жидкости таковы, что эти жидкости могут упруго деформироваться в течение короткого промежутка времени, а напряжения сдвига в них долго не исчезают после снятия нагрузки [25]. Поэтому в конце фазы кристаллизации, когда расплав консолидируется и приобретает свойства квазитвердого тела в результате формирования прочного каркаса из жестко связанных между собой кристаллов, пронизывающих весь объем суспензии [24], напряжения (стресс), вызванные деформациями плоскопараллельного сдвига (действие сил Кориолиса), будут сохраняться длительное время даже после прекращения движения суспензии (магмы) и значительного уменьшения величины сдвигающих сил.

Согласно Р. Мюллеру и С. Саксене [26] освобождение от напряжений (стресса) в атомистическом смысле может произойти только в результате реализации напряжения через трансляционное скольжение или перекристаллизационное течение. По этой причине в поро-

де, находящейся в условиях стресса, в минералах будет развиваться ориентировка кристаллических решеток – ориентировка по строению. В соответствии со схемой Розенбуша-Боуэна [27] значительная доля кварца кристаллизуется из гранитного расплава в последнюю очередь в виде высокотемпературной модификации (β -кварц). В процессе вязкого течения магмы он вначале приобретает ориентировку по форме, в виде удлиненно-уплощенных агрегатов зерен, а на стадии перекристаллизации – ориентировку по строению.

Распределение оптических осей в кварце гранитов Украинского щита изучалось на Универсальном столике микроскопа в ориентированных шлифах, изготовленных в горизонтальной плоскости. Для построения структурных диаграмм использовалась сетка равнопромежуточной проекции Каврайского, интерпретация и количественный анализ данных измерений осуществлялся по методике А.Б. Вистелиуса [7], при этом определялась степень ориентированности кварца методом χ^2 при 23 степенях свободы, угловые соотношения между горизонтальной проекцией вектора линейности кварцевых агрегатов $L_{\text{пр}}$ и

максимумом выходов оптических осей c_v . Тип диаграммы устанавливался по классификации Х.В. Ферберна [4] (12 типов ориентировки), а условия образования исследуемых гранитов – по данным работы [1]. Кроме того, в шлифах определялась доля кварца с

дефектами строения в виде трещин с газово-жидкими включениями (ГЖВ), наблюдаемых в поле зрения микроскопа как полосы пузырьков газа. Характер и степень ориентированности некоторых гранитов Украинского щита приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характер и степень ориентированности некоторых гранитов Украинского щита

Месторождение	Тип диаграммы по Х.В. Ферберну [4]	Условия образования по данным работы [1]	Угол между горизонтальной проекцией вектора линейности и оптической осью, град	Количество кварца с дефектами строения (плоскости ГЖВ), %	Степень ориентированности, χ_{23}^2
Гниванское	a-тип	Глубинные	70	100	122
Янцевское			82	78	160
Изербельское*			85	96	128
Капустинское	e-тип	Среднеглубинные	5	80	180
Корнинское			27	57	173
Кудашевское			4	65	63
Каранское			0	35	92
Токовское			8	60	118

* Девонские граниты Джойского интрузивного комплекса, Хакасская АР

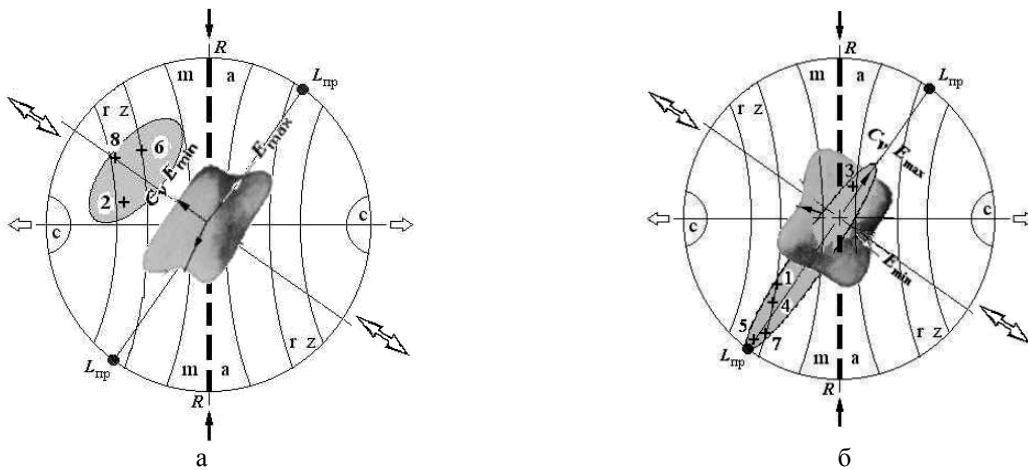


Рис. 2. Сводные (синоптические) диаграммы ориентировки максимумов выходов оптических осей кварца с поверхностями модуля Юнга для глубинных (а) и среднеглубинных (б) гранитов УЩ, построенные в горизонтальной плоскости относительно плоскости наилучшего вертикального раскола R: слабозатемненные области – пояса граней базопинакоида с, ромбоэдров r, z и призм t, a; затемненные области – зоны расположения максимумов выхода оптических осей c_v ; цифрами на диаграммах обозначены следующие месторождения 1 – Корнинское, 2 – Гниванское, 3 – Капустянское, 4 – Кудашевское. 5 – Токовское, 6 – Янцевское, 7 – Каранское, 8 – Изербельское (Девонские граниты Джойского интрузивного комплекса, Хакасская АР); $L_{пр}$ – горизонтальная проекция вектора линейности кварцевых агрегатов; \Rightarrow – максимальные растягивающие напряжения; \rightarrow – максимальные сжимающие напряжения; \Leftrightarrow – направление сдвигающих усилий.

Анализ ориентировки микроструктурных диаграмм позволил установить, что кварц гранитов Украинского щита характеризуется двумя типами ориентировки, одна из которых, согласно классификации Х.В. Ферберна [4], соответствует a-типу, когда максимумы фигуративных точек выходов оптических осей кварца на структурных диаграммах располагаются перпендикулярно направлению вектора линейности минеральных агрегатов \vec{L} (рис. 2, а), другая –

e-типу когда оптические оси кварца совпадают с направлением вектора линейности (рис. 2, б).

Такая ориентировка кварца обусловлена свойством его кристаллической решетки располагаться большим модулем упругости перпендикулярно одностороннему давлению [4]. У высокотемпературного кварца (β -кварц) E_{max} перпендикулярен оптической оси, а у низкотемпературного (α -кварц) – совпадает с ней (рис. 3, а, б).

Необходимо отметить что ориентировка *a*-типа характерна для глубинных гранитов ($P = 700-800$ МПа, $T = 700-800^\circ \text{C}$), когда значительная доля кварца кристаллизуется в высокотемпературной модификации, а ориентировка *e*-типа – для средне- и малоглубинных гранитов ($P = 300-400$ МПа, $T = 600-700^\circ \text{C}$), где преобладает низкотемпературный кварц.

В условиях высоких *P* и *T* граниты обладают значительной пластичностью и сдвиговые деформации в них, носящие необратимый характер, происходят после фазового перехода кварца в низкотемпературную модификацию. Этому процессу в значительной мере способствует аномально низкая устойчивость кварца к

деформациям вплоть до температуры $570-470^\circ \text{C}$ [28], а также то обстоятельство, что модуль сдвига гранитов, находящихся в условиях всестороннего сжатия, с ростом дифференциального напряжения уменьшается и при его величине, равной 2 Мпа, становится ниже, чем при атмосферном давлении [29]. Следы интенсивных сдвиговых деформаций в гранитах отчетливо заметны под микроскопом в виде волнистого угасания кварца и широкого развития пертита и микропертита (рис. 3) – взаимного прорастания альбита и обычно преобладающего микроклина. Считают [30], что образование таких структур тесно связано с деформациями, испытываемыми породами при сдвиге.



Рис. 3. Следы сдвиговых деформаций в гранитах УЩ: *a* – микропертит; *б* – кварц с волнистым угасанием (микрофотография – увеличение $40\times$, поляризованный свет)

Под действием горизонтальных кориолисовых сил пространственное положение осей эллипсоида деформаций постоянно изменяется и к моменту инверсионного $\alpha \leftrightarrow \beta$ перехода кварца малая ось *C* эллипсоида составляет с направлением линейности минеральных агрегатов угол, равный $35 \pm 5^\circ$. Микротрещины в кварце, объем которого при инверсионном переходе в низкотемпературную модификацию скачкообразно уменьшается на 0,86 %, развиваются в направлении максимального сжимающего напряжения, т.е. параллельно оси *C* эллипсоида деформаций.

В процессе кристаллизации они частично залечиваются горячими постмагматическими растворами с образованием флюидных включений [31], наблюдаемых под микроскопом как полоски пузырьков газа.

Наличие неоднородного силового поля напряжений является главной причиной, обуславливающей образование ориентированной структуры в гранитах. Формирование ее начинается на стадии магматического течения, при этом появляется ориентировка по форме зерен – линейно-плоскостная структура (текстура), и продолжается на стадии консолидации массива, когда ориентировка по внутреннему строению развивается в породе уже вследствие пластических деформаций являющихся однородным течением материала, сопровождающимся внутрикристаллическим скольжением, представляющим, по сути, меха-

ническое двойникование и трансляцию в пределах отдельных минеральных зерен.

При этом, как показали экспериментальные исследования [32], расположение плотностного максимума и ориентировка главных осей текстуры в значительной мере определяется формой включений, а степень развития преимущественной ориентировки возрастает с увеличением напряжений деформации.

Вопрос о том, какие именно факторы при формировании гранитной структуры могут влиять на степень ее ориентированности по внутреннему строению практически не исследован.

Некоторые сведения, которые могли бы внести определенную ясность в понимание сути данного явления, содержатся в работе С. Кларка мл. [33]. В частности, делается акцент на тот факт, что при высоких *P* и *T* межзерновое скольжение (трансляция) слабо чувствительно по направлению к нормальному напряжению, а направление скалывания, по видимому, не зависит от структуры кристаллов, деформируемых при всестороннем давлении. Исключением является лишь поведение кварца, в котором вне зависимости от направления нагрузки при данных условиях сдвиговые деформации реализуются точно параллельно определенным кристаллографическим плоскостям, а именно: $g \{10\bar{1}1\}$, $z \{01\bar{1}1\}$, $m \{10\bar{1}0\}$ и $c \{0001\}$.

В работе [34] приведены данные о влиянии ориентировки направлений главного напряжения на мобильность системы кристаллического скольжения в зернах кварца в условиях высокой температуры и большого давления при варьирующих значениях угла φ между осью кристалла и направлением главного напряжения σ_1 . Полученные экспериментальные результаты показали, что система кристаллических дислокации неактивна при $\varphi = 0^\circ$, но становится подвижной при $\varphi = 90^\circ$. Наиболее активна она при $\varphi = 45^\circ$. Сделан вывод, что существование высоких температур и давлений является необходимым условием для развития в кристалле кварца мобильной системы кристаллического скольжения, однако она остается неактивной до тех пор, пока ориентировка главного напряжения не приобретет благоприятного направления. Насколько корректным является данный вывод судить трудно, так как в работе отсутствуют сведения, при каких условиях проводились опыты, а именно: величина дифференциального напряжения σ_1 , наличие флюидов, скорость приложения нагрузки и т.п.

Интенсивность ориентировки оптических осей кварца гранитов Украинского щита, оцениваемая методом χ^2 , устанавливалась автором настоящей статьи с целью прогнозирования процента выхода монолитных блоков гранита на карьерах по добыче декоративного и облицовочного камня. Идея данных исследований заключалась в том, что оптические оси

кварца пространственно жестко связаны с плоскостями «залеченных» микротрещин и величина χ^2 – степень ориентированности кварца – позволяет в принципе судить и о степени ориентированности микротрещин в гранитах, поскольку направление наилучшего вертикального раскола (т.н. «рифт») контролируется микротрещинами в зернах кварца, то от их упорядоченности в пространстве зависит в общем случае процент выхода отделяемых от массива монолитных блоков.

Граниты, как известно [35], являются напряженными породами и по этой причине обладают тенденцией «... к расширению с огромной силой в горизонтальном направлении при снятии нагрузки». Для учета этого явления при разработке оптимальной технологии эксплуатации месторождений блочного гранита необходимо иметь данные о пространственном положении главных сжимающих напряжений в породах и их относительной величине.

Способ определения главных сжимающих напряжений [36] дает возможность реконструировать картину распределения главных сжимающих напряжений в пространстве на стадии формирования гранитного массива. Полученные данные об ориентировке главных сжимающих напряжений для некоторых месторождений гранита УЩ и степени ориентированности и кварца, взаимосвязанной, как уже говорилось выше, с мобильностью системы кристаллического скольжения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Фактические данные о степени ориентированности оптических осей кварца гранитов УЩ и значениях угла φ между направлением главного сжимающего напряжения σ_1 и оптической осью кристалла c_v

Номера максимумов выхода оптических осей на сводной структурной диаграмме	Месторождение	Угол между направлением главного сжимающего напряжения σ_1 и оптической осью кристалла c_v , φ , град.	Степень ориентированности оптических осей кварца χ^2_{23}
1	Корнинское (Житомирская обл.)	57	173
2	Гниванское (Винницкая обл.)	78	122
3	Капустянское (Кировоградская обл.)	75	180
4	Кудашевское (Днепропетровская обл.)	45	63
5	Токовское (Днепропетровская обл.)	35	118
6	Янцевское (Днепропетровская обл.)	60	160
7	Каранское (Приазовье)	37	92
8*	Изербельское	67	128

* – девонские граниты Джойского интрузивного комплекса, Хакасская АР (Российская Федерация)

Данные табл. 2 свидетельствуют об отсутствии какой-либо связи между степенью ориентированности оптических осей кварца, косвенно характеризующей мобильность системы трансляционного скольжения в этом минерале и направлением главного сжимающего напряжения σ_1 . В реальных условиях минимальное значение степени ориентированности оптических осей кварца, а, следовательно, минимальная мобильность системы трансляционного

скольжения наблюдается при значении угла φ , равного 45° , что явно противоречит выводам, приведенным в работе [47].

В этой связи заслуживает особого внимания работа Г.С. Листера [51], который теоретически и экспериментально исследовал мобильность трансляционного скольжения в кристаллах, подвергающихся пластическим деформациям. Им установлено, что изменение пространственного положения кристаллогра-

фических осей минерального зерна (мобильность системы), происходит тем быстрее, чем больше потенциальных плоскостей трансляции содержится в деформируемом внешними силами кристалле [37, фиг. 2, С. 355].

Детальный анализ (интерпретация) структурных диаграмм, составленных по кварцу, включающий анализ пространственного положения максимумов выходов оптических осей, угловых соотношений между направлением вектора линейности кварцевых агрегатов \vec{L} , его горизонтальной проекцией $L_{пр}$, ориентировке главных сжимающих напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 позволил установить, что мобильность системы трансляционного скольжения в кварцевых зернах гранитов Украинского щита не зависит от ориентировки максимального сжимающего напряжения σ_1 по отношению к направлению оптической оси кварца c_v (угол ϕ , табл. 3).

На мобильность системы трансляционного скольжения, оцениваемой степенью ориентированности кварца по строению, т.е. величиной χ^2 при 23 степенях свободы (рис. 4), основное влияние оказывает количество плоскостей трансляции, по которым совершаются скользящие дифференциальные движения при пластических деформациях.

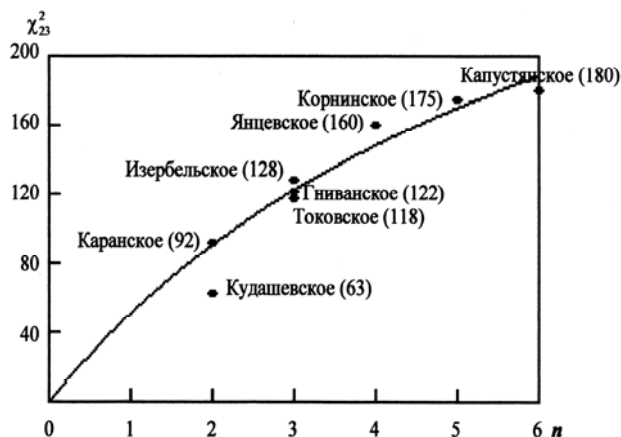


Рис. 4. Зависимость интенсивности ориентировки по строению (χ^2_{23}) в кварце гранитов УЩ от количества плоскостей трансляции

Количество таких плоскостей может варьировать от 2 до 6 и зависит оно от пространственного положения среднестатистического максимума выходов оптических осей по отношению к ориентировке сдвигающих усилий, обусловленных действием сил Кориолиса на консолидирующийся гранитный массив.

Таблица 3

Некоторые особенности ориентировки, влияющие на мобильность системы трансляционного скольжения в кварце

Номер на структурной диаграмме	Месторождение	Тип	Преобладающие простые кристаллографич. формы	Плоскости трансляции	Число плоскостей трансляции	Степень ориентированности оптических осей кварца
7	Кудашевское (Днепропетровская обл.)	e	Все формы	R^*, r^{**}	2	63
5	Каранское (Приднепровье)			R, r	2	92
6	Токовское (Приднепровье)			Z, m, s	3	118
1	Гниванское (Винницкая обл.)	a	Ромбоэдры, призмы, дипирамиды	Z, m, s	3	122
8	Изербельское (девонские граниты Джойского интрузивного комплекса, Хакасская АР)		Ромбоэдры, призмы, дипирамиды	Z, z, r	3	128
3	Янцевское (Приднепровье)		Ромбоэдры, призмы, дипирамиды	Z, R, X, m	4	160
4	Корнинское (Житомирская обл.)	e	Ромбоэдры, призмы, дипирамиды	Z, R, r, a, x	5	175
2	Капустянское (Кировоградская обл.)		Ромбоэдры, призмы	M, Z, S, X, m, z	6	180

Примечание: * – плоскости параллельные направлению трансляционного скольжения;

** – плоскости ортогональные направлению трансляционного скольжения

Z, z, R, r – ромбоэдры; M, m, A, a – призмы; X, x – трапецоэдры; S, s – дипирамиды тригональные, правые

Выводы

Изучение микроструктуры гранитов Украинского щита методом с помощью универсального столика микроскопа показало, что ориентировку по внутреннему строению в процессе формирования массивов приобретает лишь кварц. Остальные породообразующие минералы (полевые шпаты, слюды и др.) ориентируются по форме зерен, что является следствием вязкого течения магмы.

Ориентировка кварцевых зерен по строению (ориентировка кристаллических решеток) образуется на стадии кристаллизации гранитного массива в результате реализации горизонтальных сдвиговых напряжений через трансляционное скольжение и перекристаллизацию.

В гранитах Украинского щита установлено два типа ориентировки кристаллической решетки кварца, одна из которых соответствует *a*-типу, когда оптические оси в кварцевых зернах ориентированы перпендикулярно направлению вектора линейности минеральных агрегатов, а другая – *e*-типу, при которой оптические оси кварца располагаются параллельно направлению вектора линейности.

Ориентировка *a*-типа присуща глубинным гранитам, где большая часть кварца на ранней стадии формирования массивов кристаллизовалась в высокотемпературной модификации, а ориентировка *e*-типа – для средне- и малоглубинных гранитов, в которых кварц кристаллизовался в низкотемпературной модификации.

Мобильность системы трансляционного скольжения, косвенно оцениваемая степенью ориентированности оптических осей кварца в пространстве величиной χ^2 , не зависит от ориентировки максимальных сжимающих напряжений σ_1 по отношению к направлению его оптической оси.

Для гранитов Украинского щита величина χ^2 (мобильность системы) прямо пропорциональна количеству плоскостей трансляции, по которым совершаются скользящие дифференциальные движения при пластических деформациях. Число таких плоскостей может варьировать от 2 до 6 и зависит оно от пространственного положения среднестатистического максимума выходов оптических осей кварца по отношению к ориентировке напряжений сдвига, вызванных действием сил Кориолиса на консолидирующийся гранитный массив.

Влияние режима кристаллизации гранитов на мобильность системы трансляционного скольжения в кварце проявляется лишь в субсолидусных условиях при возникновении напряжений пластического течения в кристаллическом каркасе. При этом трансляция в зернах кварца в значительной мере обусловлена аномально низкой устойчивостью данного минерала к деформациям при инверсионном переходе от высокотемпературной к низкотемпературной модификации в области давлений 300-800 МПа и температур 550-800° С.

Список литературы

1. Критерии прогнозирования месторождений Украинского щита и его обрамления / Под ред. акад. АН Украины Н.П. Семененко. – К.: Наук. думка, 1975. – С. 141-146.
2. Ермаков Н.П. Геохимические системы включений в минералах. – М.: Недра, 1972. – 376 с.
3. Реддер Э. Флюидные включения – реликты рудообразующих растворов // Геохимия гидротермальных рудных месторождений: Пер. с англ. Под ред. Х.Л. Барнса. – М.: Мир, 1982. – С. 535-577.
4. Ферберн Х.В. Структурная петрология деформированных горных пород. – М.: ИЛ., 1949. – 267 с.
5. Елисеев Н.А. Структурная петрология. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. – 352 с.
6. Ажгирей Г.Д. Структурная геология. – М.: Изд-во МГУ, 1966. – 347 с.
7. Вистелиус А.Б. Структурные диаграммы. – М.-Л. Изд-во АН СССР. – 158 с.
8. Пронин А.В. Статистическая обработка в стереографической проекции ориентированных величин // Советская геология. – 1949. – № 9. – С. 41-50.
9. Елисеев Н.А. Составление диаграмм по структурному и микроструктурному анализу. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1957. – 28 с.
10. Sander, B. Gefugekunde der Gesteine. – Vienna, 1930. – 156 s.
11. Елисеев Н.А. О закономерной ориентировке минералов в горных породах (тектониты и ложные тектониты). – Минер. сб. Львовск. геол. об-ва при ун-те. – 1962. – № 16. – С. 154-170.
12. Whitten E., Harold T. The Gola granite (Co. Donegal) and its regional setting // Proc.Roy. Irish Acad. – 1957. – В 58. – № 12. – P. 245-292.
13. Игнатовски П. Петроструктурни особености на Игналищенский плутон.– Изв. Геол. ин-т Бълг. – АН. Сер. геотектон. – 1970. – 19. – С. 117-125.
14. Hara Ikuro, Takeda Kenji, Kimura Tetsuo. Preferred lattice orientation of quartz in shear deformation // J.sci. Hiroshima Univ. – 1973. – P. 7.
15. Benes Karel. Structurns charakteristika granitoidu Ceskeno Masivu. – Geol.pr. SAV-GUDS. – Spr. 1971. – № 57. – S. 53-64.
16. Дэна Дж., Дэна Э.С., Фрондель К. Система минералогии. Минералы кремнезема. – М.: Мир, 1966. – Т. 3. – 430 с.
17. Орлов Р.Ю. Участие пластинок деформации в образовании некоторых максимумов кварца // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1959. – № 8. – С. 71-75.
18. Christie J.M., Corbato C.E. Preferred orientation of quartz: a comparison of observed and predicted fabrics. – Trans. Amer. Geophys. Union. – 1966. № 7, № 3. – P. 492.
19. Кратковский И.Л. Механизм образования вертикальных трещин в гранитных массивах // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотех. мех. НАН Украины. – Д., 2001. – Вып. 27. – С. 169-174.
20. Кратковский И.Л. Реконструкция палеонаправлений «север-юг» по данным гравитационного поля над

- интрузивными массивами // Науковий вісник НГАУ. – 2002. – № 4. – С. 11-14.
21. Кратковский И.Л. Развитие ориентированных структур гранитоидов: теория, экспериментальные результаты и прикладное значение // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотех. мех. НАН Украины. – Д., 2003. – Вып. 44. – С. 141-150.
22. Метаморфическое и магматическое минералообразование по данным термобарогеохимии / Ю.А. Долгов, И.Т. Бакуменко, А.А. Томашевская, В.П. Чуим // Геология и геохимия. – 1984. – № 12. – С. 41-53.
23. Конвективный тепло- и массоперенос. – М.: Энергия, 1980. – 46 с.
24. Персиков Э.С. Вязкость магматических расплавов. – М.: Наука, 1964. – 160 с.
25. Kerr Ross C., Lister John R. The effect of shape on crystal settling and on the rheology of magmas // J.Geol. – 1991. – 99, № 3. – P. 457-467.
26. Мюллер Р., Саксена С. Химическая петрология. – М.: Мир, 1980. – 517 с.
27. Петрография / Под ред. А.А. Маракушева. – В 2-х ч. – М.: МГУ, 1975. – Ч. 1. – 328 с.
28. Зубов В.Г., Фирсова М.М. Об особенностях упругого поведения кварца в области $\alpha \leftrightarrow \beta$ перехода // Кристаллография. – 1962. – Т. 7. – С. 469-471.
29. Томашевская И.С. Исследование модуля сдвига и прочности образцов горных пород при высоких всесторонних давлениях методом кручения. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С.36-52.
30. Chayes, F. The finer-grained c. alkaline granites // Trans. N.Y. Acad.Sci. – 1950. – № 12. – P. 144-151.
31. Tuttle O.F. Structural petrology of planes of liquid inclusions // J.Geol. – 1949. – № 57. – P. 331-356.
32. Theory of preferred crystal orientation developed by crystallization under stress / Kamb. W. Barclay // J.Geol. – 1956. – № 2 – P. 139-142.
33. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка мл. – М.: Мир, 1969. – 543 с.
34. Correlation between of the crystalline system sliding mobility in a quartz and direction orientation of above all squeezing tension (σ_1) / Li Shuqiang, Lu Hongxiu, Wang Zichao, Wang Qiangzu // Acta miner.sin. – 1989. – 9, № 2. – P. 169-173.
35. Бейтс Р. Геология неметаллических полезных ископаемых. – М.: Мир, 1956. – 545 с.
36. А.с. 1335698, СССР. МКИ⁴ E 21 C 30/00; G 01 V 9/00. Способ определения направлений главных сжимающих напряжений в гранитах / И.Л. Кратковский. – Оpubл. 07.09.87. Бюл. № 33.
37. Lister G.S. A vorticity equation for lattice reorientation during plastic deformation / Tectonophysics. – 1982. – Vol. 82. – № 3/4. – P. 351-366.

Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. В.В. Лукиновим 24.04.09

УДК 621.311.004

А.А. Колб

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНА СИСТЕМА КОРЕКЦІЇ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ГРУПОВОГО ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Розглянуто систему керування якістю електроенергії на основі АІН із ШІМ у системах групового живлення електроприводів із спільними шинами постійного струму.

Рассмотрена система управления качеством электроэнергии на основе АИН с ШИМ в системах группового питания электроприводов с общими шинами постоянного тока.

The system of electric power quality control on the basis of AVI with WIM in the systems of group feed of electro-mechanics with the direct-current unibuss is considered.

Вступ. Електроприводи споживають близько 60% електроенергії, що виробляється. Тому розробка й практичне застосування методів і засобів енергозбереження й нормалізації якості електроенергії можливостями промислового електропривода є актуальним завданням, затребуваним практикою. Одним з рішень поставленого завдання є застосування систем електропривода із спільними шинами постійного струму й ємнісних накопичувачів енергії, обладнаних паралельними силовими активними компенсаторами (ПСАК) неактивної складової повної потужності.

Системи керування якістю електроенергії на основі АІН із ШІМ, побудовані за принципом замкнених систем, мають більш широкі функціональні можливості. Застосування у внутрішніх контурах релейних принципів керування, а також формування керуючих параметрів на основі теорії миттєвої потужності робить ці системи при наявності необхідного резерву напруги в колі постійного струму незалежними від параметричних і зовнішніх збурень.

Крім того, системи групового живлення приводів з ємнісними накопичувачами мають низку інших переваг: гнучка конфігурація силових блоків і модулів; накопичена енергія повторно використовується минаючи мережу приводами рушійного режиму, а також для керування якістю електроенергії за допомогою ПСАК [1]; ємнісний накопичувач при належному рівні запасеної енергії сприймає короточасні піки навантаження, розвантажуючи мережу й силовий трансформатор від негативного впливу ударних навантажень.

Аналіз відомих рішень. В частотно-регульованому асинхронному електроприводі, щоб уникнути ускладнення вхідного кола, силовий перетворювач у більшості випадків складається із АІН з ШІМ і некерованого діодного випрямляча. Останній шунтується конденсаторною батареєю для забезпечення двостороннього обміну енергією між двигуном і вхідним колом постійного струму. Така побудова силової схеми дозволяє керувати амплітудою і частотою вихідної напруги в одному інверторі та уникнути ускладнення вхідного кола. Проте, при цьому можливо реалізувати лише інверторне гальмування без

рекуперації енергії в мережу, що викликає додаткові втрати в розрядних резисторах в електроприводах з напруженими динамічними режимами і великими інерційними масами, а також в підійомно-транспортних установках. Реалізація рекуперативного гальмування вимагає ускладнення силової схеми і замість діодного випрямляча необхідно використовувати перетворювач з двосторонньою провідністю на основі АІН з ШІМ. Проте і в цьому випадку, внаслідок двосторонньої циркуляції енергії між електродвигуном і мережею, виникають додаткові втрати в лінії, трансформаторі та вхідному перетворювачі.

Одним з напрямів усунення перерахованих недоліків і вирішення проблеми нормалізації якості електроенергії на основі сучасних повністю керованих перетворювачів з ШІМ є використання групового живлення електроприводів від загальних шин постійного струму з ємнісними накопичувачами енергії [2-4].

У схемі рис. 1 виключається двостороння циркуляція енергії між мережею і двигунами, оскільки енергія гальмування одного або групи електродвигунів передається (минаючи мережу) через ємнісний накопичувач на інші електроприводи у режимі двигуна. Істотно, що запасена в ємнісному накопичувачі енергія повторно використовується для керування якістю електроенергії за допомогою оберненого АІН з ШІМ, який сумісно з системою релейно-векторного керування утворює так званий паралельний (силовий) активний фільтр (ПАФ).

Виклад основного матеріалу. Формування керуючого параметра для оптимізації енергетичних процесів і мінімізації втрат у нелінійних і несиметричних системах з реактивним навантаженням обумовлює необхідність оперувати миттєвою потужністю, яка однозначно характеризує енергообмінні процеси, що відбуваються в нелінійних системах [5]. Ця задача може бути вирішена на основі методу $I_x, I_y (I_d, I_q)$ теорії $p-q$ миттєвої потужності з використанням узагальнених векторів струму і напруги мережі в системі координат x, y , що синхронно обертається, орієнтованої по вектору напруги мережі [6].

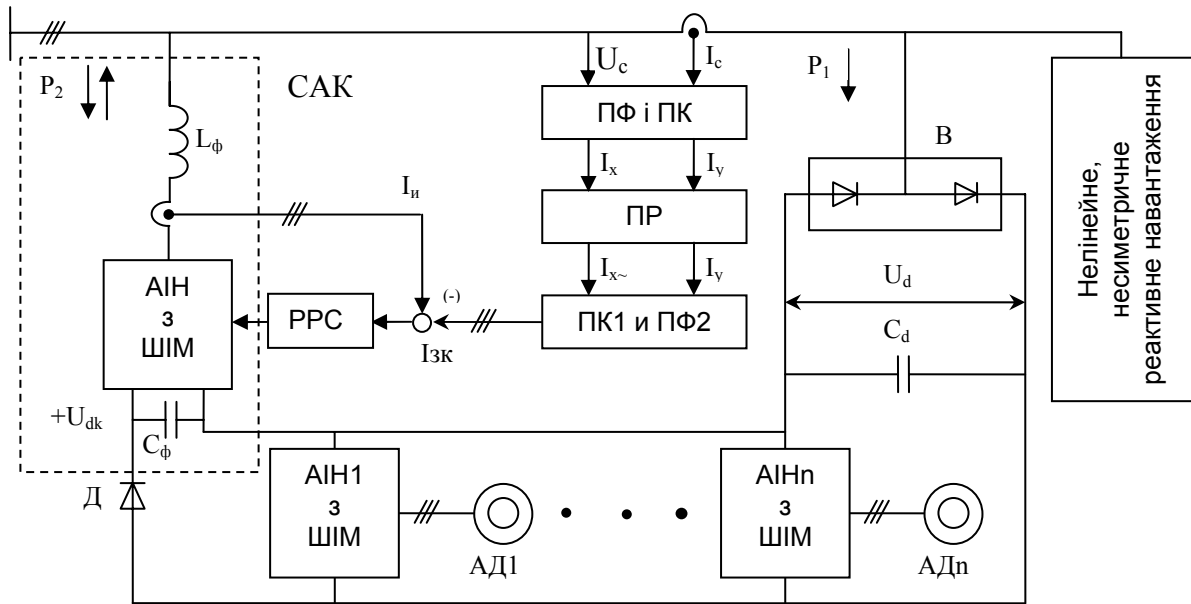


Рис. 1. Функціональна схема групового живлення приводів з ємнісними накопичувачами

Якщо в нерухомій системі координат α, β позначити кути між віссю α та узагальненими векторами напруги і струму відповідно φ_u і φ_i , то вирази для векторів напруги і сполученого струму можна записати [6]:

$$\vec{U} = U_\alpha + jU_\beta = U_m \cos \varphi_u + jU_m \sin \varphi_u; \quad (1)$$

$$\vec{I}^* = I_\alpha - jI_\beta = I_m \cos \varphi_i - jI_m \sin \varphi_i,$$

де U_m, I_m – модулі відповідних векторів, що дорівнюють амплітудним значенням фазних напруг і струмів.

З урахуванням (1) вираз для миттєвої потужності має вигляд:

$$P = \frac{3}{2}(U_\alpha I_\alpha + U_\beta I_\beta); Q = \frac{3}{2}(U_\beta I_\alpha - U_\alpha I_\beta), \quad (2)$$

що відповідає методу $p-q$ (I_α, I_β) теорії миттєвої потужності [7].

У трифазній симетричній системі синусоїдальних величин узагальнені вектори в площині комплексного змінного зображаються вектором, який рівномірно обертається з кутовою частотою напруги. При цьому ортогональні складові I_α і I_β у (2) є гармонійними функціями, що ускладнює їх використання для побудови і синтезу САР якості електроенергії на основі ПАФ. Додаткові переваги, з погляду простоти формування керуючих дій, пропорційних неактивним складовим повної потужності, дає перехід від нерухомої системи координат α, β до x, y , що синхронно обертається, орієнтованої по вектору напруги мережі. В цій системі координат трифазна синусоїдальна система напруг представляється вже нерухомим вектором з однією лише постійною проекцією на вісь x , що спрощує реалізацію і синтез регуляторів, які працюють на постійному, а не змінному струмі.

Перехід до системи координат x, y , що обертається, та зворотній перехід реалізується за допомогою співвідношень [6]:

$$\vec{I}_{x,y} = \vec{I}_{\alpha,\beta} e^{-j\varphi_u}; \quad (3)$$

$$\vec{I}_{\alpha,\beta} = \vec{I}_{x,y} e^{j\varphi_u}, \quad (4)$$

де φ_u – кут між координатними системами; $I_x; I_y; I_\alpha; I_\beta$ – ортогональні складові узагальнених векторів струму в системі координат, що обертається, і в нерухомій.

Для сполученого вектора струму

$$\vec{I}_{x,y}^* = \vec{I}_{\alpha,\beta} e^{j\varphi_u}; \vec{I}_{\alpha,\beta}^* = \vec{I}_{x,y} e^{-j\varphi_u}, \quad (5)$$

де $\vec{I}_{x,y}, \vec{I}_{\alpha,\beta}$ – сполучені вектори струму у відповідній системі координат.

У системі координат x, y , що обертається, орієнтованої за вектором напруги мережі, вираз для миттєвої потужності з урахуванням (3) і (5) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} p_{x,y} &= \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\vec{U}_{\alpha,\beta} \vec{I}_{\alpha,\beta}^*] = \\ &= \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\vec{U}_{x,y} e^{j\varphi_u} \vec{I}_{x,y}^* e^{-j\varphi_u}] = \\ &= \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\vec{U}_{x,y} \vec{I}_{x,y}^*], \end{aligned} \quad (6)$$

що відповідає методу i_d, i_q (I_x, I_y) – теорії миттєвої потужності [8].

Результуючі вектори в системі координат, що обертається, орієнтованої за вектором напруги ($U_y = 0$), можна записати як:

$$\begin{aligned} \vec{U}_{x,y} &= U_x = U_m; \\ \vec{I}_{x,y}^* &= I_x - jI_y = I_m \cos \varphi - jI_m \sin \varphi, \end{aligned} \quad (7)$$

де φ – фазовий зсув між напругою і струмом.

З урахуванням (7) вираз для миттєвої потужності (6) набуває вигляду:

$$p_{x,y} = \frac{3}{2} \operatorname{Re} [U_x (I_x - jI_y)] = \\ = \frac{3}{2} \operatorname{Re} [U_m (I_m \cos \varphi - jI_m \sin \varphi)],$$

дійсна складова якого відповідає активній потужності, а уявна – реактивній:

$$P = \frac{3}{2} U_m I_m \cos \varphi = 3UI \cos \varphi = 3UI_x; \\ Q = \frac{3}{2} U_m I_m \sin \varphi = 3UI \sin \varphi = 3UI_y. \quad (8)$$

Наведені вирази дають такий же результат, що і (2) для нерухомої системи координат, оскільки перехід від однієї системи до другої не призводить до зміни кута зсуву між векторами напруги і струму. Проте використання системи координат x, y значно спрощує процедуру виділення і безперервного контролю миттєвих значень неактивних складових повної потужності. В лінійних симетричних системах обидві складові I_x і I_y не містять змінних компонентів і, як випливає з (8), пропорційні відповідно активній і реактивній потужності. В нелінійних симетричних системах за наявності гармонік струму в обох складових з'являються змінні компоненти, пропорційні потужності викривлення. При цьому сума змінних складових $I_{x\sim} + I_{y\sim}$ пропорційна потужності викривлення, обумовленої несинусоїдальністю кривих струму і напруги. З урахуванням цього можна сформулювати узагальнений параметр мінімізації неактивних складових повної потужності в нелінійних симетричних системах:

$$I = I_y + I_{x\sim},$$

який відповідає струмам, що підлягають компенсації, і може бути використаний у САР якості електроенергії з допомогою ПАФ як задавальна дія.

За відсутності нульової складової струму миттєве значення потужності несиметричної системи визначається як скалярний добуток узагальненого вектора напруги $\bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2^*$ і сполученого вектора струму мережі $I = \dot{I}_1^* + \dot{I}_2$ [6]:

$$p = \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\bar{U} \cdot \bar{I}^*] = \frac{3}{2} \operatorname{Re} [(\dot{U}_1 + \dot{U}_2^*) \cdot (\dot{I}_1^* + \dot{I}_2)] = \\ = \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1^* + \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_2 + \dot{U}_2^* \cdot \dot{I}_1^* + \dot{U}_2^* \cdot \dot{I}_2].$$

Оскільки [6]

$$\operatorname{Re} [\dot{U}_2^* \dot{I}_2] = \operatorname{Re} [\dot{U}_2 \dot{I}_2^*]; \operatorname{Re} [\dot{U}_2^* \dot{I}_1^*] = \operatorname{Re} [\dot{U}_2 \dot{I}_1],$$

то

$$p = \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1^* + \dot{U}_2 \cdot \dot{I}_2^* + \dot{U}_2 \cdot \dot{I}_1 + \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_2],$$

У наведеному виразі складові

$$\frac{3}{2} \operatorname{Re} [\dot{U}_1 \dot{I}_1^*] = P_1, \quad \frac{3}{2} \operatorname{Re} [\dot{U}_2 \dot{I}_2^*] = P_2$$

відповідають середній потужності прямої та зворотної послідовностей, а складова

$$\frac{3}{2} \operatorname{Re} [\dot{U}_1 \dot{I}_2 + \dot{U}_2 \dot{I}_1]$$

є змінною потужністю, пульсуючою з подвійною частотою навколо нульового середнього значення. Амплітуду цієї нульової складової називають потужністю несиметрії. Таким чином, в трифазних системах з ізолюваною нейтраллю, де відсутні струми нульової послідовності, симетрування навантаження відповідно компенсації пульсуючої з подвійною частотою потужності.

На підставі сказаного на рис.1 наведена функціональна схема замкненої САР компенсації неактивних складових потужності в електроприводах зі спільними живлячими шинами постійного струму і накопичувачами енергії за допомогою конденсаторних батарей.

Перетворювач фаз (ПФ) рис. 1 побудований на підставі співвідношень [6]

$$I_\alpha = \operatorname{Re}(\bar{I}) = \operatorname{Re} \left[\frac{2}{3} (i_A + \bar{\alpha} i_B + \bar{\alpha}^2 i_C) \right] = \\ = \frac{2}{3} \left(i_A - \frac{i_B + i_C}{2} \right), \\ I_\beta = \operatorname{Im}(\bar{I}) = \operatorname{Im} \left[\frac{2}{3} (i_A + \bar{\alpha} i_B + \bar{\alpha}^2 i_C) \right] = \\ = \frac{i_B - i_C}{\sqrt{3}},$$

реалізує перехід від трифазної системи до двофазної, а перетворювач координат (ПК) на основі (3) – до системи координат x, y що обертається, орієнтованої за вектором напруги мережі. У перемикачі режимів (ПР) залежно від компонент ортогональних складових I_x і I_y , що надходять на вхід ПК1 (реалізує на підставі (4) перехід від системи координат, що обертається, до нерухомої), встановлюється режим компенсації: компенсація всіх неактивних складових повної потужності (реактивна потужність зсуву, потужність викривлення та несиметрії); окремих складових або їх комбінація.

На виході перетворювача фаз ПФ2, що реалізує перехід від двофазної системи до трифазної, за допомогою виразів [6]

$$i_A = I_\alpha; i_B = -\frac{I_\alpha}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} I_\beta; i_C = -\frac{I_\alpha}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} I_\beta$$

формується завдання на трифазні струми $I_{3\kappa}$, що підлягають компенсації, які надходять на входи релейних регуляторів струму (PPC), охоплених від'ємним зворотним зв'язком.

При подачі на вхід ПК1 тільки постійної складової I_y реалізується компенсація тільки реактивної потужності зсуву перших гармонік напруги та струму. Результати комп'ютерного моделювання цього режиму наведені на рис. 2.

Режим компенсації потужності викривлення (фільтрації вищих гармонік струму) реалізується при

подачі на вхід ПК1 тільки змінних складових I_x і I_y без компонент подвійної частоти (рис. 3). Якщо до зазначених складових додати постійну складову I_y – має місце режим компенсації реактивної потужності та потужності викривлення (рис. 4).

На рис. 5 наведені графіки струму мережі в режимі симетрування навантаження. В цьому випадку на вхід ПК1 подаються лише змінні складові подвійної частоти, компенсація яких відповідна симетруванню режиму роботи мережі.

З графіків рис. 2-5 випливає, що запропонована система практично без запізнювання і з високою точністю, при практично синусоїдальному струмі мережі, компенсує неактивні складові повної потуж-

ності. Це зумовлено тим, що в якості завдань релейних регуляторів струму використовуються безпосередньо струми, що підлягають компенсації, виділені без запізнювання за миттєвим значенням потужності. Таким чином досягається гранично можлива швидкодія системи автоматичного регулювання якості електроенергії при заданих енергетичних обмеженнях.

Варто додати, що в запропонованій схемі, на відміну від відомих з активними випрямлячами, можливе підключення САК не тільки до входу системи, а, наприклад, до вузла з максимальним реактивним навантаженням і тим самим додатково скоротити втрати в лінії.

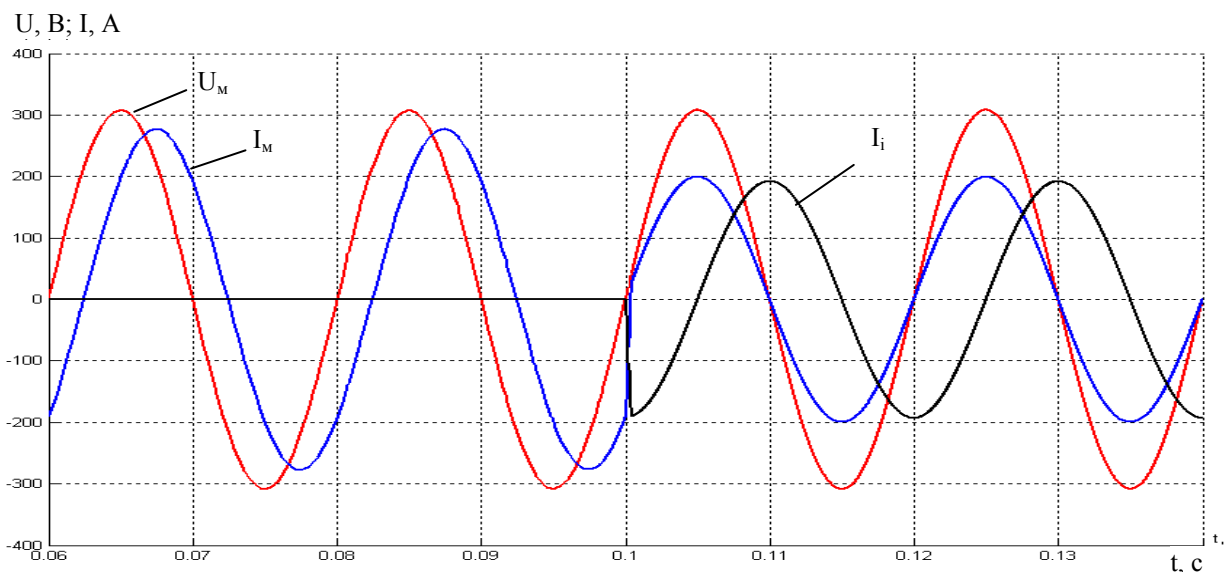


Рис. 2. Режим компенсації реактивної потужності зсуву перших гармонік напруги та струму

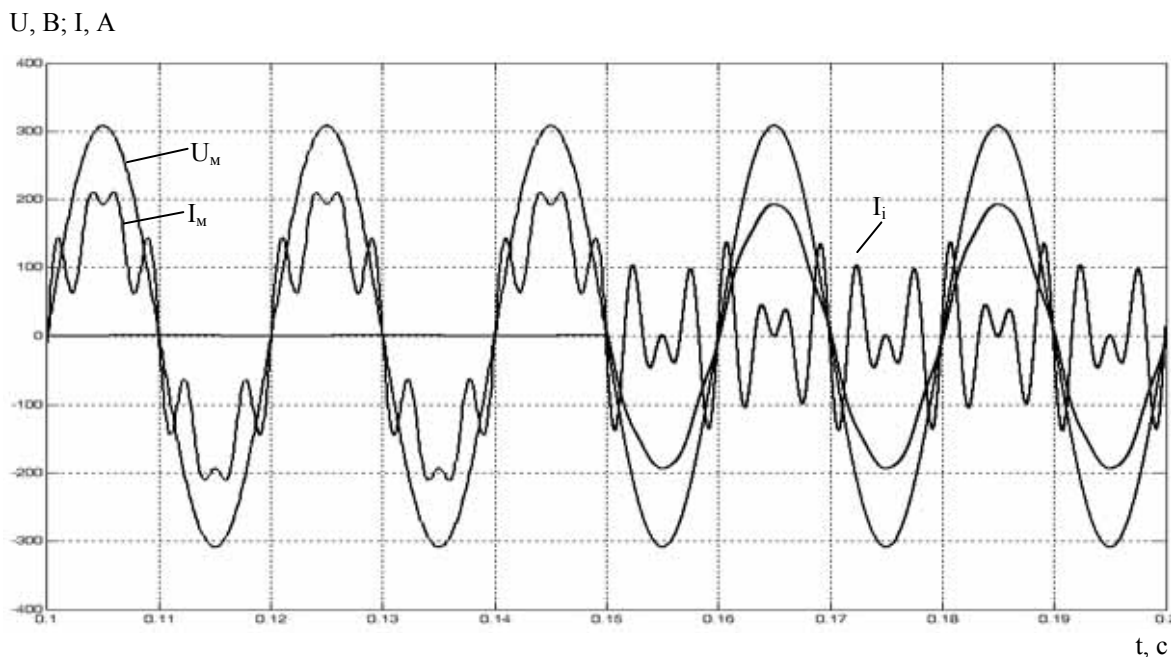


Рис. 3. Режим компенсації потужності викривлення

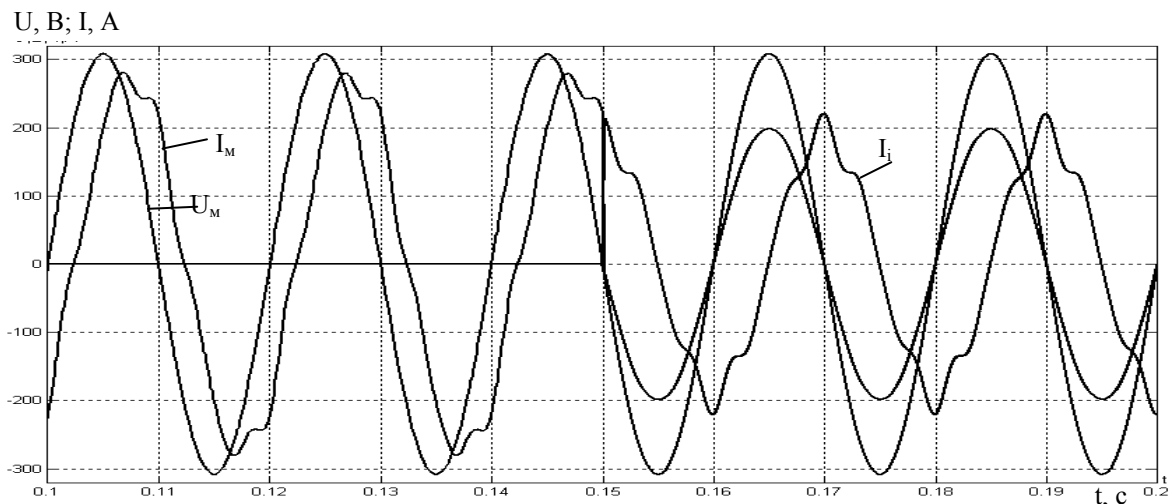


Рис. 4. Режим компенсації реактивної потужності та потужності викривлення

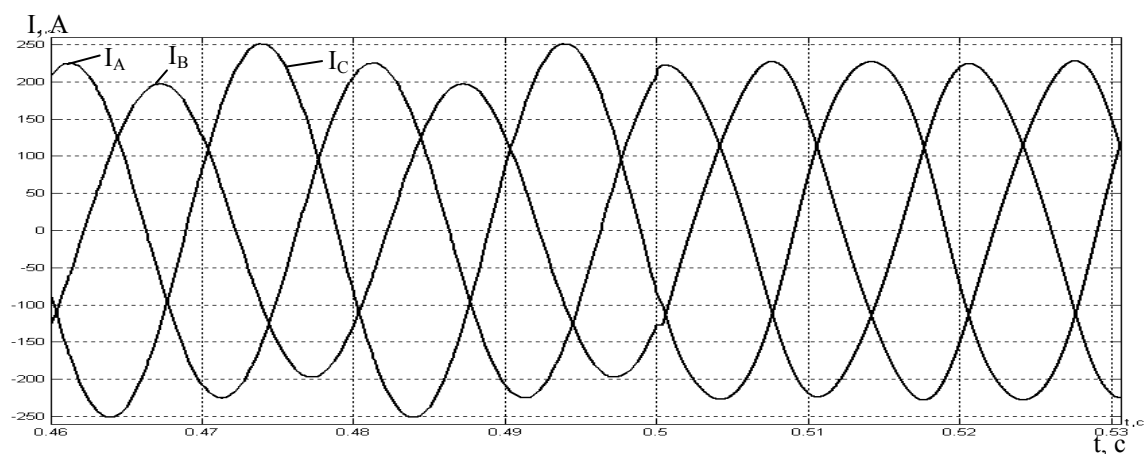


Рис. 5. Режим симетрування навантаження

Висновки

На основі звернених АІН із ШІМ можуть бути побудовані багатофункціональні швидкодіючі системи керування якістю електроенергії в приводах з ємнісними накопичувачами, що дозволяють як компенсувати неактивні складові потужності, так і стабілізувати напругу мережі.

Висока точність і гранично можлива швидкодія системи керування якістю електроенергії при заданих енергетичних ресурсах досягається застосуванням релейних регуляторів струму та формуванням керуючого параметра за миттєвим значенням потужності.

Список літератури

1. Милях А.Н., Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трёхфазных цепях. – К.: Наук. думка, 1973. – 219 с.
2. Волков А.В. Анализ электромагнитных процессов и совершенствование регулирования активного фильтра // Электротехника. – 2002. – № 12. – С. 40-48.
3. Колб А.А. Энергосберегающая система группового питания электроприводов с общим преобразователем

с двухсторонней проводимостью и емкостным накопителем энергии // Вестник Кременчугского политехн. ун-та. – 2003. – Вып. 1. – С. 135-143.

4. Автоматизированный электропривод – современная основа автоматизации технологических процессов / Белов И.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Сумников А.А. // Электротехника. – 2003. – № 5. – С. 12-16.

5. Баланс энергий в электрических цепях / Тонкаль В.Е., Новосельцев А.В., Денисюк С.П. и др.; Под ред. И.В. Волкова. – К.: Наук. думка, 1992. – 312 с.

6. Ковач К.П., Рац І. Переходные процессы в машинах переменного тока: пер. с нем. – М.– Л.; Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.

7. Akagi H., Kanazawa Y., Nabae A. Generalized theory of the instantaneous reactive power in three phase circuits. IPEC'83: // Int. Power Electronics Conf., Tokyo, Japan, 1983. – PP. 1375-1386.

8. Soares V., Verdelho P., Marques G.D. An instantaneous active and reactive current component method of active filters // IEEE Trans. Power Electr. – July, 2000. – vol. 15. – PP. 660-669.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Ф.П. Шкрабцом 10.04.09

УДК 004.421:004.92:622.34

А.С. Зеленский, С.С. Пуханов, В.И. Мельничук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ NURBS-ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ИЗОЛИНИЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РУДЫ НА КАРЬЕРАХ

Описано методику автоматизованої побудови ізоліній з використанням NURBS-поверхонь, побудованих за даними опробування свердловин. Надано розробку графічного середовища для інтерпретації результатів.

Описано методику автоматизированного построения изолиний с использованием NURBS-поверхностей, построенных по данным опробования скважин. Представлена разработка графической среды для интерпретации результатов.

The method of the automated isolines creation is described. NURBS-surfaces built from data of mining holes assays are used. Development of graphic environment for interpretation of results is presented.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Планирование горных работ, учёт добычи руд на рудных карьерах являются наиболее трудоемкими работами, которые в значительной степени определяют экономику предприятия. Для подсчета запасов, планирования горных работ и учета добычи основой является оконтуривание рудных тел по типам и сортам. Кроме того, для повышения эффективности планирования горных работ необходима пространственная оценка качественных показателей. Такая оценка может быть достигнута построением поверхностей изменения содержания качественных показателей (топофункций) и на их основе изолиний с заданным шагом сечения поверхности. Кроме того, построение поверхности является наиболее эффективной основой для оконтуривания рудных тел. В этой связи разработка методов построения топофункций и изолиний для оценки пространственной изменчивости качественных показателей руды и оконтуривания рудных тел является весьма актуальной. При этом необходимо разрабатывать программное обеспечение с использованием наиболее эффективных методов решения. В статье описана методика автоматического построения изолиний с использованием NURBS-поверхностей для оконтуривания сортов руд и отображения изменчивости качественных показателей внутри сортных участков на рудных карьерах.

Анализ исследований, нерешенные ранее части проблемы. Для построения изолиний используются зарубежные программные пакеты, наиболее популярным является Surfer, который постоянно совершенствуется. Однако подобные приложения имеют ряд недостатков. В таких пакетах отсутствует возможность пользователям оперативно управлять процессом построения изолиний. Для небольших горнодобывающих компаний эти программные пакеты труднодоступны из-за их высокой стоимости. Кроме того, важным фактором для эффективности систем планирования горных работ является интеграция различных приложений и передача данных между ними [1]. Эти причины приводят к необходимости

разработки модулей построения топофункций и изолиний в комплексе программного обеспечения управления горными работами.

В зарубежных пакетах основой для построения поверхностей является интерполяционная сеть, в узлах которой интерполяция выполняется по исходным данным опробования скважин геостатистическими методами или методом обратных расстояний. Эти методы имеют свои недостатки. При использовании геостатистических методов не всегда можно получить устойчивую вариограмму, что может привести к значительным погрешностям расчетов. Интерполяционные методы учитывают пространственное расположение данных опробования, но не учитывают пространственную изменчивость качественных показателей.

Для построения поверхностей можно использовать полиномиальные модели. При этом не обязательно использовать интерполяционную сеть. Исходными данными могут быть непосредственно результаты опробования скважин. Однако для описания поверхности необходима высокая степень полинома, что ограничивается допустимой значностью данных при автоматизации. Кроме того, полиномиальная модель не учитывает пространственную изменчивость показателей, изменение данных опробования по одной скважине влияет на изменение всей поверхности. При этом полином может сглаживать резкие изменения качественных показателей при наличии области пустой породы внутри рудного тела. Альтернативным вариантом при построении топофункций является NURBS-поверхность. Преимущества её использования заключаются в следующем. Исходным информационным базисом для неё может быть интерполяционная сеть, построенная на основе любых методов интерполяции. При построении NURBS-поверхности имеют влияние только ближайшие узлы сети, при изменении данных опробования по одной скважине изменяется только ближайшая область поверхности. Кроме того, при использовании NURBS-поверхности, учитывается изменчивость качественных показателей, существует возможность модели-

рования переходов руды в пустую породу. В этой связи использование NURBS-поверхностей для описания изменчивости качественных показателей руды является наиболее эффективным.

Постановка задачи. В качестве информационной базы для построения изосодержания используется цифровая модель месторождения (ЦММ), которая содержит первичные данные опробования по скважинам. По каждой скважине в БД хранятся результаты химического и рентгеноспектрального анализов, а также координаты их устьев. Основной целью работы является разработка алгоритма и программного обеспечения оценки пространственной изменчивости качественных показателей руды на основе построения изолиний с использованием NURBS-поверхностей. Суть метода состоит в построении поверхности по данным опробования скважин с последующим сечением построенной поверхности горизонтальными плоскостями с заданным шагом изменения содержания полезного компонента.

Исследование и обоснование результатов. В нашем примере рассматривается построение изолиний по данным опробования взрывных скважин внутри выбранного взрывного блока. На первом этапе формируется замкнутый контур вокруг взрывного блока. Пользователь вызывает необходимый взрывной блок из ЦММ, скважины которого выводятся на экран дисплея, как это показано на рис. 1, а. При этом возле каждой скважины по выбору пользователя выводятся показатели.

Для формирования исходных данных выполняется построение контура, который описывает выбранный блок. Построение контура может выполняться вручную с помощью манипулятора «мышь» либо автоматически с учетом конфигурации блока. Затем контур покрывается правильной регулярной сеткой с заданным шагом. В узлах сети, которые попадают в заданный контур, методами интерполяции определяются значения исследуемого показателя. На рис. 1, б показан фрагмент контура, покрытого регулярной интерполяционной сетью. Скважины отмечены точками, узлы равномерной сети «крестиками». Интерполяция в узлах сети может выполняться различными способами в зависимости от конфигурации блока и его расположения в рудной области:

- обратных расстояний;
- наименьших квадратов;
- точечного крайгинга.

Для всех способов интерполяции выбирается шаг сети, число ближайших скважин к узлу сети. При интерполяции методом обратных расстояний кроме указанных параметров дополнительно вводится показатель степени. Значение показателя в узле сети А определяется как взвешенное среднее:

$$C_A = \sum_{i=1}^N C_i d_i^{-\alpha} / \sum_{i=1}^N d_i^{-\alpha}, \quad (1)$$

где C_A – интерполированное значение показателя в узле А; N – количество ближайших скважин; α – показатель степени; d_i – расстояние между ближайшими скважинами и узлом интерполирования; C_i – зна-

чение показателя в скважине, ближайшей к узлу интерполирования.

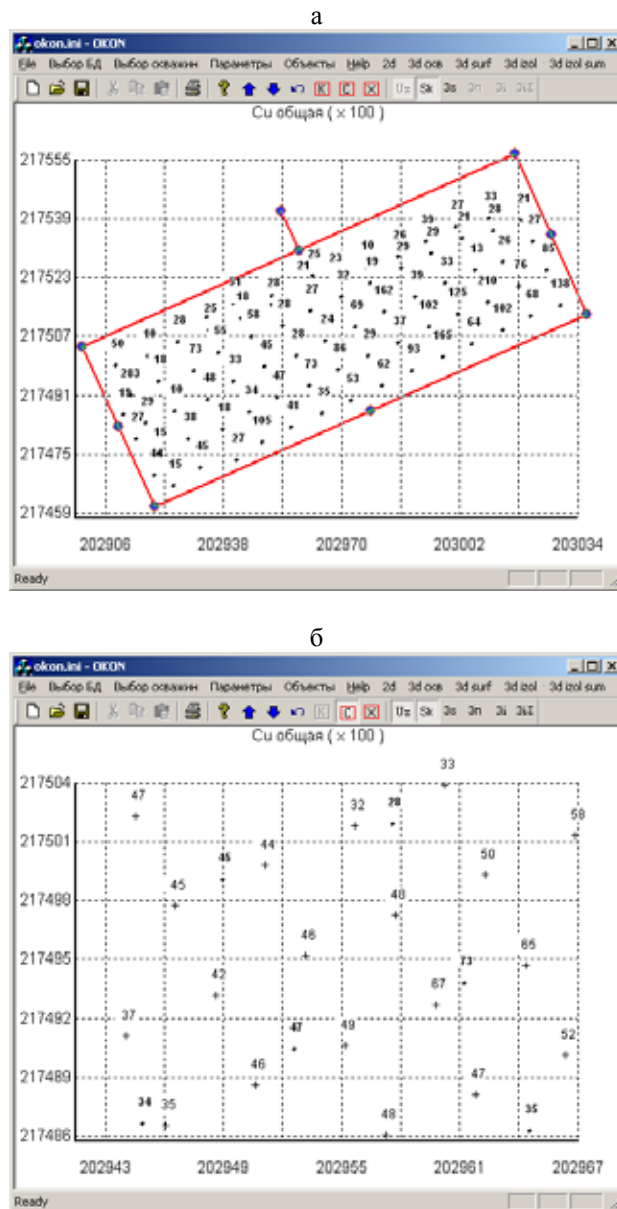


Рис. 1. Вывод взрывного блока и формирование исходных данных

Таким образом формируется правильная регулярная сетка со значением показателей в узлах сети. Массив интерполированных значений является исходным для построения NURBS-поверхности [2]. Поверхность отражает топофункцию изменения выбранного показателя (рис. 2).

Построение NURBS-поверхностей с помощью стандартных функций OpenGL не позволяет гибко управлять поверхностью. Кроме того, при построении NURBS-поверхности стандартными средствами OpenGL нет возможности получить координаты узлов поверхности для выполнения сечений. В этой связи были разработаны собственные

функции для построения NURBS-поверхности на основе B-сплайнов.

В нашем случае NURBS – поверхность имеет следующий вид:

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} P_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}, \quad (2)$$

где u, v текущий узел поверхности, через который проходит B-сплайн, соответственно в направлении оси OX, OY ; $P(u, v)$ – параметрическое значение показателя (X, Y, Z) в узлах u, v ; $(M + 1)$ – количество контрольных точек по оси OX ; $(L + 1)$ – количество контрольных точек по оси OY ; $P_{i,k}, w_{i,k}$ – соответственно значение показателя и доля его влияния в i -й строке и k -м столбце исходного массива; $N_{i,m}(u)$ – значение стыковочной функции в узле u степени $(m-1)$ (при использовании кубического B-сплайна $m = 4$) в i -м узловом векторе в направлении оси OX ; $N_{k,n}(v)$ – значение стыковочной функции в узле v степени $(n-1)$ в k -м узловом векторе в направлении оси OY .

Как видно из рис. 2, в трехмерной графике кроме поверхности, показывающей изменение качественного показателя, показаны боковые стороны фигуры. Такое отображение NURBS-поверхности достигается за счет использования следующего алгоритма:

1. По периметру интерполированной сети с заданным шагом интерполяции добавляются точки с нулевым значением показателя.

2. При построении поверхности в этих точках задаются нулевые весовые коэффициенты $w_{i,k} = 0$.

3. Всем остальным точкам поверхности задаются значения $w_{i,k} = 100$.

Так как NURBS-поверхность проходит через все крайние точки, то она «привязана» к нулевой отметке, а за счет высокого весового коэффициента в остальных точках поверхность резко поднимается к необходимому уровню, не срезая боковые грани. Кроме того, пользователь имеет возможность управлять весовыми коэффициентами интерполяционной сети для моделирования переходов между рудой и пустой породой, а также между различными сортами руды.

Для построения изолиний (изосодержания) изменчивости выбранного показателя полученная поверхность пересекается горизонтальными плоскостями с заданным шагом изменения содержания. Шаг изменения содержания выбирается пользователем. Значение шага, а также разность максимального и минимального значений исследуемого показателя определяют количество горизонтальных плоскостей. Построение изолинии рассматриваемой горизонтальной плоскости выполняется следующим образом. Как видно из рис. 2, полученное тело ограничено сверху NURBS-поверхностью и может рассматриваться как совокупность соприкасающихся призм. В данном случае верхняя поверхность каждой призмы является частью поверхности и не является плоским четырехугольником. Поэтому для построения сечения четырехугольные призмы разбиваются на треугольные. После этого выполняется пересечение треугольных призм горизонтальной плоскостью и выполняется проверка расположения треугольника, описывающего верхнюю поверхность, относительно плоскости.

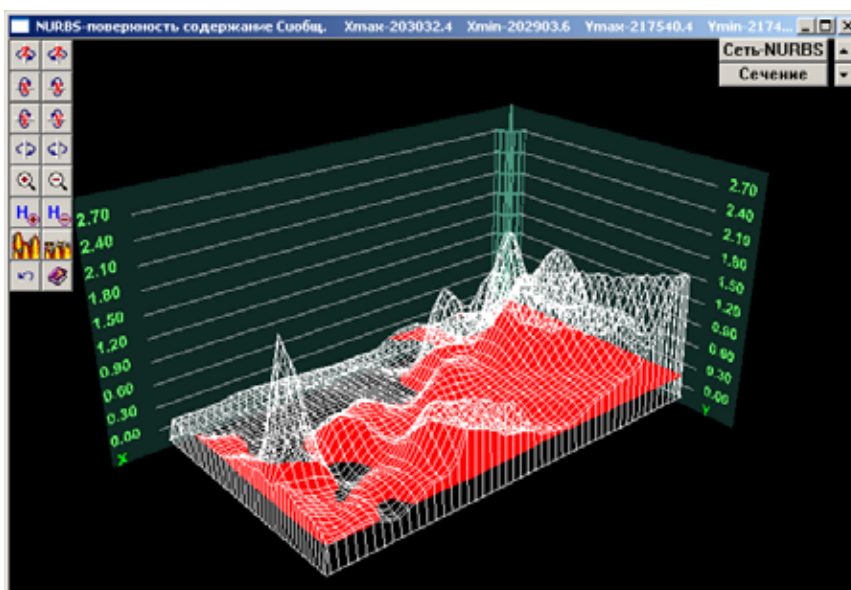


Рис. 2. Отображение NURBS-поверхности в трехмерной графике

При этом оценивается количество точек, расположенных над плоскостью (kol), и количество точек, расположенных непосредственно на плоскости (kol_p). Если все вершины треугольника находятся на плоскости или выше неё, т.е.

$$kol + kol_p = 3, \tag{3}$$

то координаты сечения определяются следующим образом:

$$x = x_i; y = y_i; z = z_p \tag{4}$$

где x_i, y_i – координаты точек исходного треугольника, z_p – координата z секущей плоскости.

Если все вершины треугольника расположены ниже секущей плоскости, то текущая призма не образует область пересечения. Во всех остальных случаях находится область пересечения треугольной призмы с горизонтальной плоскостью. При этом рассматривается расположение отрезков треугольника (верхнего основания призмы) относительно секущей плоскости. При расположении отрезка над плоскостью обе точки участвуют в построении области пересечения. Отрезок, который находится ниже секущей плоскости, не образует площади пересечения призмы. Если отрезок пересекается плоскостью, т.е.

$$(z_i - z_p) * (z_{i+1} - z_p) < 0, \tag{5}$$

где z_i, z_{i+1} – координаты z начала и конца отрезка; z_p – координата z секущей плоскости, то находятся координаты x, y, z пересечения отрезка с плоскостью:

$$x = (1 - lam) * x_i + lam * x_{i+1}; \tag{6}$$

$$y = (1 - lam) * y_i + lam * y_{i+1}; \tag{7}$$

$$z = z_p \tag{8}$$

где $x_i, y_i, x_{i+1}, y_{i+1}$ – координаты x, y начала и конца отрезка,

$$lam = (z_i - z_p) / (z_i - z_{i+1}). \tag{9}$$

Из полученных точек формируется треугольная или четырехугольная фигура пересечения призмы с плоскостью.

В результате пересечения всех треугольных призм с плоскостью формируется набор многоугольников, совокупность которых определяет область заданного содержания (рис. 3).

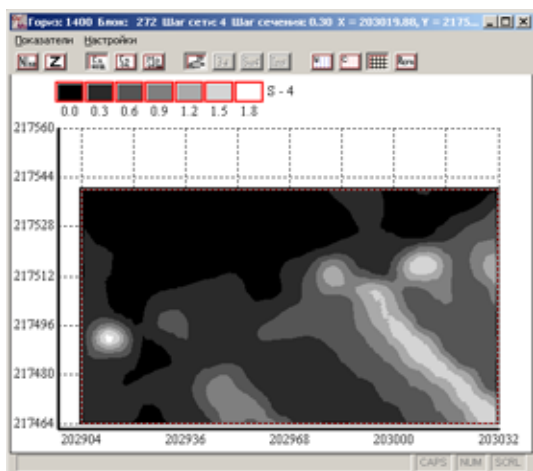


Рис. 3. Изосодержание полезного компонента на основе сечения NURBS-поверхности

Оконтуривание рудных тел или сортов руд выполняется по заданным кондициям качества. Скажем, содержание выше заданного кондиционного (балансового) содержания относится к руде, а ниже – к пустой породе. Аналогично выполняется разделение различных сортов руд. В этой связи для оконтуривания необходимо получить контур пересечения полученной поверхности с заданной плоскостью, отметка z которой соответствует заданному кондиционному показателю. При этом недостаточно получить только совокупность многоугольников, которые вполне подходят для визуализации изосодержания. Дополнительно необходимо получить координаты непосредственно контура области пересечения. Полученные контуры рудных тел и выделенных сортов используются при подсчете запасов и учете добычи руды.

Для объяснения алгоритма выделения областей заданного качества блоке рассмотрен гипотетический пример на рис. 4, где показан контур, в котором построены многоугольники, полученные в результате сечения треугольных призм плоскостью. Из сторон многоугольников формируется набор отрезков.

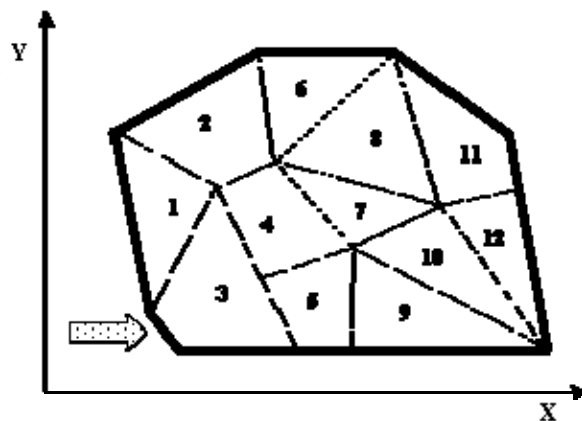


Рис. 4. К построению изолиний

Каждый отрезок характеризуется координатами начала (X_1, Y_1) и конца (X_2, Y_2), номером. При этом имеет место значительное число пар совпадающих отрезков. Эти отрезки принадлежат соседним (прилегающим) многоугольникам. Для формирования изолинии заданного качества необходимо исключить пары совпадающих отрезков. Для этого данные по отрезкам записываются в промежуточную БД, где упорядочиваются по возрастанию координаты X_1 , а при одинаковых X_1 – по Y_1 . Расположение отрезка определяется теми же условиями: начало отрезка определяется условием $X_1 < X_2$, а при $X_1 = X_2$ должно соблюдаться неравенство $Y_1 < Y_2$.

При последовательном просмотре каждой записи БД удаляются только совпадающие отрезки. На рис. 4 такие отрезки обозначены пунктирными линиями. Поскольку отрезки упорядочены строго по возрастанию X_1 , очередность их просмотра выполняется в направлении, указанном стрелкой на рис. 4.

При использовании такой сортировки не производится сравнение отрезков «каждый с каждым», а сравниваются текущий отрезок со следующим отрезком в отсортированной таблице базы данных. При этом количество операций сравнения значительно сокращается: с $n(n-1)/2$ до $n-1$, т.е. в $n/2$ раз, где n – количество отрезков в базе данных. Например, при небольшом контуре и наличии 500 отрезков, количество операций сравнения сокращается с 124750 до 499, т.е. в 250 раз, что значительно повышает оперативность расчетов.

После удаления внутренних отрезков выполняется последовательная сборка изолинии. Сформированная изолиния по заданному качеству показывает область сорта или типа руды и может использоваться для последующего подсчета запасов.

Результаты оконтуривания сохраняются в таблице базы данных, что позволяет легко экспортировать их во внешние приложения, например, в графическую среду AutoCAD. Результаты решения выводятся на экран дисплея, принтер и графопостроитель.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Предложенный алгоритм построения изосодержания позволяет повысить качество планирования горных работ. При построении изолиний учитывается пространственная изменчивость качественных показателей. Графическая среда контроля данных позволяет исключать ошибки исходных данных на стадии их формирования. Включение разработанного приложения в комплекс геолого-маркшейдерского обеспечения и возможность экспорта результатов оконтуривания во внешние приложения обеспечивает необходимый уровень интеграции данного пакета.

УДК 628.697

С.А. Ус, В.П. Яценко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

У статті розглядається рішення задачі забезпечення оптимального освітлення у виробничому приміщенні, а також проведено порівняльний аналіз роботи запропонованого алгоритму з існуючими.

В статье рассматривается решение задачи обеспечения оптимального освещения в производственном помещении, а так же проведен сравнительный анализ работы предложенного алгоритма с ранее существующими.

In the article is considered decision of the problem of the ensuring the optimum illumination in production premises, and is in the same way organized benchmark analysis of the functioning the offered algorithm with earlier existing.

Одним из актуальных требований современного производства является улучшение условий труда, что подразумевает решение многих взаимосвязанных задач. Одной из таких задач является обеспечение оптимального освещения в производственном помещении. При этом важно обеспечить заданное освещение в нем с минимальными затратами, что включает в себя выбор источников света (в соответствии с задан-

Алгоритм построения изолиний с использованием NURBS-поверхности является универсальным и может быть применен для решения различных горно-геометрических задач. Реализация алгоритмов включена в комплекс программ, разработанный с использованием языка Visual C++ и открытой графической библиотеки OpenGL. Использование стандартных классов не всегда позволяет провести контроль исходных данных и обеспечить необходимую гибкость задач. В этой связи были разработаны классы для управления таблицами баз данных, подготовки отчетов, формирования трехмерных изображений.

Опыт практического использования модуля автоматизированной подготовки данных и оперативного подсчета запасов показал их высокую эффективность в реальных условиях.

Список литературы

1. Kapageridis I.K. The Future of Mine Planning Software – New Tools and Innovations // Internet: http://uk.geocities.com/adaptive_geoservices/IMCET2005.pdf
2. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов.– СПб.: Питер, 2002. – 1088 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Хорольським 13.04.09

ными характеристиками помещения и требованиями производства) и оптимальное их размещение.

В данной работе рассмотрены задачи оптимального размещения источников света в помещении. Рассмотрим некоторые из них:

1. Пусть имеется заданное количество источников света, характеристики которых известны. Необходи-

мо разместит их так, чтобы обеспечивалась максимальная освещенность помещения.

2. Пусть имеется заданное количество источников света. Необходимо определить оптимальное их размещение и мощность с целью обеспечения нормативного освещения в каждой точке помещения.

3. Необходимо определить оптимальное размещение источников света данного типа в производственном помещении, их количество и мощность с целью обеспечения нормативного освещения в каждой точке помещения.

Заметим, что задача 1 является частным случаем задачи 2, а задача 3 может быть сведена к последовательному решению ряда задач 2, поэтому остановимся на рассмотрении именно этой задачи.

Для ее решения используем математическую модель оптимального s -шарового покрытия множеств, т.е. покрытие минимального радиуса.

В свою очередь, s -шаровое покрытие с центрами в τ_1, \dots, τ_N и радиусом $R(\tau^N)$ является минимальным, если никакие s -шары меньшего радиуса с центрами в τ_1, \dots, τ_N не покрывают Ω , где Ω – ограниченное, замкнутое множество в n -мерном евклидовом пространстве E_n .

Построение математической модели. Определять освещенность в любой точке помещения можно как в горизонтальной, так и в вертикальной или наклонной плоскостях. В данной работе рассматривается задача только в горизонтальной плоскости.

Пусть Ω – ограниченное, замкнутое множество в 2-мерном евклидовом пространстве E_2 . Необходимо разместить n центров τ_1, \dots, τ_N – проекции точек расположения источников света в помещении.

Поскольку освещение конкретного участка пропорционально расстоянию от источника света, в качестве цели логично рассмотреть минимизацию максимального расстояния до источника света:

$$R(\tau^N) = \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} c(x, \tau_i),$$

где $c(x, \tau_i) = \sqrt{(x^1 - \tau_i^1)^2 + (x^2 - \tau_i^2)^2}$ – расстояние от точки помещения до проекции источника света на освещаемую поверхность.

Для учета требований освещенности в каждой точке производственного помещения введем дополнительное ограничение

$$\sum_i E_i(x) \geq N, \quad \forall x \in \Omega,$$

где $\sum_i E_i$ – суммарная освещенность от всех источников света в помещении; N – норма освещенности для помещения.

Освещенность в каждой точке производственного помещения определяется по формуле:

$$E = \frac{I_\alpha \cos \alpha \sin^2 \alpha}{d^2},$$

где d – расстояние от точки помещения до проекции источника света на освещаемую поверхность, м; I_α – сила света по направлению к точке, кд; α – угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка, и лучом:

$$\alpha = \arctg \frac{p}{h},$$

где p – расстояние от точки до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через точку, м; h – высота подвеса светильников, м.

Тогда освещенность, создаваемую в точке источником света τ_i , можно выразить так:

$$E_i = \frac{I_\alpha \cos \alpha \sin^2 \alpha}{d^2},$$

где I_α – определяется из таблицы [2] при известном значении α для различных типов светильников;

$$\cos \alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2 + c_i^2(x, \tau_i)}};$$

$$\sin \alpha = \frac{c_i(x, \tau_i)}{\sqrt{h^2 + c_i^2(x, \tau_i)}};$$

$$d = c(x, \tau_i) = \sqrt{(x^1 - \tau_i^1)^2 + (x^2 - \tau_i^2)^2}$$

и суммарная освещенность в точке от всех источников света может быть выражена

$$E = \sum_i E_i = \frac{I_\alpha h}{(h^2 + \sqrt{(x^1 - \tau_i^1)^2 + (x^2 - \tau_i^2)^2})^{3/2}}.$$

Требование соблюдения нормированной освещенности для помещения можно записать в виде $\sum_i E_i \geq N$ или

$$\frac{I_\alpha h}{(h^2 + \sqrt{(x^1 - \tau_i^1)^2 + (x^2 - \tau_i^2)^2})^{3/2}} > N.$$

Тогда поставленная задача может быть описана в виде следующей **математической модели**.

Разместить центры τ_1, \dots, τ_n в области Ω так, чтобы

$$R(\tau^N) = \inf_{(\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N} \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} c(x, \tau_i).$$

Требования соблюдения нормированной освещенности для помещения можно записать так:

$$\frac{I_\alpha h}{(h^2 + \sqrt{(x^1 - \tau_i^1)^2 + (x^2 - \tau_i^2)^2})^{3/2}} \geq N. \quad (1)$$

Таким образом, эта задача определения оптимального расположения источников света может быть рассмотрена в рамках математической модели оптимального покрытия.

Опишем алгоритм решения задачи об оптимальном покрытии, основанный на методе оптимального разбиения множеств [1].

Алгоритм

Параллелепипед (Π) покрываем прямоугольной сеткой с шагом $\Delta h_j, j = \overline{1, n}$ и задаем начальное положение центров покрытия $\tau^{(0)} = (\tau_1^{(0)}, \dots, \tau_N^{(0)})$, для которых строим разбиение Дирихле-Вороного $\{\Omega(\tau_i^{(0)}), i = \overline{1, N}\} = \{\Omega(\tau_1^{(0)}), \dots, \Omega(\tau_N^{(0)})\}$.

Для каждого подмножества $\Omega(\tau_i^{(0)}), i = \overline{1, N}$ находим перебором на сетке все наиболее удаленные точки $x_i^{(0)}$ от соответствующего центра $\tau_i^{(0)}$, $i = \overline{1, N}$. С помощью этих точек вычисляем вектор градиент $g_{\bar{R}}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ в точке $\tau^{(0)}$, выбираем начальный пробный шаг r -алгоритма $h_0 > 0$.

Первый шаг алгоритма проводим по формуле $\tau^1 = P_I(\tau^{(0)} - h_0 g_{\bar{R}}(\tau^{(0)}))$, где P_I – оператор проектирования на Π .

Переходим ко **второму шагу**.

Пусть в результате вычислений после $k (k = 1, 2, \dots)$ шагов алгоритма получен определенный вектор $\tau^{(k)} = (\tau_1^{(k)}, \dots, \tau_N^{(k)})$.

Опишем **(k+1)-й шаг** алгоритма.

1. По центрам $\tau_1^{(k)}, \dots, \tau_N^{(k)}$ строим разбиение Дирихле-Вороного $\{\Omega(\tau_i^{(k)}), i = \overline{1, N}\}$. Для каждого множества $\Omega(\tau_i^{(k)}), i = \overline{1, N}$, находим перебором на сетке все наиболее удаленные точки $x_i^{(k)}$ от соответствующего центра $\tau_i^{(k)}$.

2. Вычисляем значение $g_{\bar{R}}(\tau)$ при $\tau = \tau^{(k)}$.

Проводим **(k+1)-й шаг** алгоритма:

$$\tau^{(k+1)} = P_I(\tau^{(k)} - h_k g_{\bar{R}}(\tau^{(k)})).$$

Шаг h_k выбираем из условия: $\min_{h>0} \bar{R}(\tau^{(k)} - h_k g_{\bar{R}}(\tau^{(k)}))$.

1. Если условие

$$\|\tau^{k+1} - \tau^k\| \leq \varepsilon, \varepsilon > 0 \tag{2}$$

не выполняется, переходим к **(k+2)-му шагу** алгоритма, в противном случае – к п. 5.

2. Полагаем $\tau_* = \tau^{(l)}$, где l – номер итерации, на которой выполнилось условие (2) завершение работы алгоритма.

3. Вычисляем значение минимального радиуса покрытия по формуле $R(\tau) = \max_{i=\overline{1, N}} \max_{x \in \Omega(\tau_i)} c(x, \tau_i)$

при $\tau = \tau_*$.

Решение задачи

Для решения задачи оптимального покрытия применим алгоритм оптимального разбиения множеств, который был описан выше.

Здесь норма освещенности $N = 100$, высота помещения 4,5 м. Рабочая поверхность расположена на высоте 0,8 м от пола. Длина и ширина помещения по 9 м соответственно.

В результате работы алгоритма получены координаты центров:

- $\tau_1 (1,64;1,69)$; - $\tau_2 (1,69;6,92)$;
- $\tau_3 (6,92;1,64)$; - $\tau_4 (6,93;6,92)$.

Результатом является расположение источников света в помещении, изображенное на рис. 1.

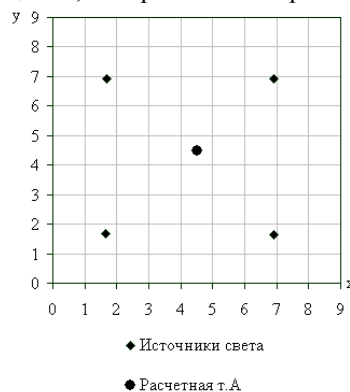


Рис. 1. Результаты программы для 4 источников света

Проверим выполнение требований освещенности, применив, для освещения помещения, лампы накаливания мощностью 500 Вт, используя ограничение (1). В этом случае освещенность в т. А равна 103 лк. Следовательно, требование освещенности выполнено.

Анализ полученных результатов. Для сравнения провели расчет освещенности в данном помещении точечным методом [2], который является одним из стандартных методов решения данной задачи. Примем его за базовый вариант расчетов.

В результате получили расположение ламп, изображенное на рис. 2.

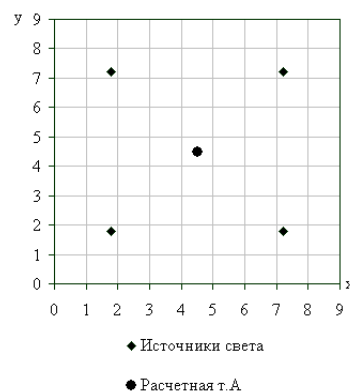


Рис. 2. Результаты расчета освещения базовым вариантом

Освещенность в т. А, рассчитанная точечным методом, составляет 94 лк. В действительности освещенность в т. А будет несколько выше (расчет этим мето-

дом не учитывает освещенности от светового потока, отраженного от потолка, стен и пола). Но в любом случае, требование освещенности не выполнено.

Эту проблему можно решить увеличив мощность каждой лампы или количество светильников.

Результаты, полученные этими двумя методами, можно наглядно представить в таблице:

Базовый вариант		Проектный вариант	
X	Y	X	Y
1,8	1,8	1,64	1,69
1,8	7,2	1,69	6,92
7,2	1,8	6,92	1,64
7,2	7,2	6,93	6,92
94		103	

Сравнивая результаты, полученные разными способами, следует отметить, проектный вариант является лучше базового, так как освещенность в т. А больше на 9 лк и обеспечивает минимальную освещенность для данного помещения.

УДК 621.396.67

С.И. Романов, Т.А. Романова

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ МАЛЫХ ШТЫРЕВЫХ АНТЕНН ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ РЕАКТИВНОЙ НАГРУЗКИ

Досліджено методи підвищення ефективності електрично малих антен та поліпшення їх вхідних характеристик шляхом включення в розриви випромінюючих гілок індуктивних елементів.

Исследованы методы повышения эффективности электрически малых антенн и улучшения их входных характеристик путем включения в разрывы излучающих ветвей индуктивных элементов.

The methods of increase of efficiency are investigational electric small aerials and improvement of their entrance descriptions by plugging in the breaks of radiative branches of inductive elements.

Уменьшение электрических размеров и, следовательно, габаритов и массы антенн, несомненно, является актуальной проблемой антенной теории и практики. Особенно это относится к антеннам, предназначенным для применения на подвижных объектах, в частности на космических аппаратах (КА), самолетах и других летательных средствах. Общепринятым понятием электрически малой антенны (ЭМА) является выполнение неравенства $ka \leq 1$, где k – волновое число, a – радиус условной сферы, охватывающей максимальный размер симметричной антенны или a – радиус соответствующей полусферы для случая несимметричной антенны.

При уменьшении электрического размера антенны до $ka \leq 1$ мы, зачастую, сталкиваемся с резким рассогласованием входа антенны с подводющим фидером и с уменьшением коэффициента полезного

Выводы

Предложенный метод оптимального размещения источников света в сравнении с существующими методами и результаты, которые получены, подтверждают возможность его использования на практике.

Список литературы

1. Киселева Е.М., Шор Н.З. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы, приложения. Монография. – К.: Наукова думка, 2005. – 564 с.
2. Израэльсон З.И., Тарасенко Н.Ю. Руководство к практическим занятиям по гигиене труда. – М.: Медицина, 1973. – 304 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.В. Слесаревим 25.05.09

действия (КПД), то есть, эффективности антенны. При этом ухудшаются входные характеристики ЭМА, коэффициент стоячей (бегущей) волны по напряжению (КСВН, КБВН) на входных разъемах ЭМА. Даже при $ka = 1$ комплексное входное сопротивление обычного симметричного вибратора по результатам расчета методом интегрального уравнения (ИУ), подтвержденным экспериментально, составляет $Z_{in} = (22,7 - i744)$ Ом. Это соответствует значению КСВН = 490, при волновом сопротивлении питающего фидера $W_f = 50$ Ом. Для очень малых ЭМА, например, $ka = 0,1$ получаем $Z_{in} = (0,2 - i11772)$ Ом, что соответствует очень большим значениям КСВН порядка $> 2 \cdot 10^6$. Такое неудовлетворительное состояние на входных разъемах ЭМА вынуждает разработчиков применять на входе ЭМА согласующие устройства.

Это усложняет антенную систему и вносит в нее дополнительные джоулевы потери, снижающие и без того низкий КПД антенной системы.

Устранение или ослабление этих негативных явлений для случая проволочных ЭМА выполняется путем включения в антенну реактивной составляющей, а именно, индуктивности. В данной работе приведены результаты исследований этих антенн с индуктивными нагрузками (ИН), включенными в определенных точках излучающих ветвей ЭМА.

Рассмотрим результаты исследований методом ИУ свойств ЭМА с ИН на примере симметричной П-образной ЭМА (рис. 1) со следующими параметрами: $d = 0,12 \lambda$, $ka = 0,38$; $d = h + l$; $d/r_a = 50$; $\Omega = 9,21$. Здесь $\Omega = 4,6 \lg(2d/r_a)$, где r_a – радиус антенны.

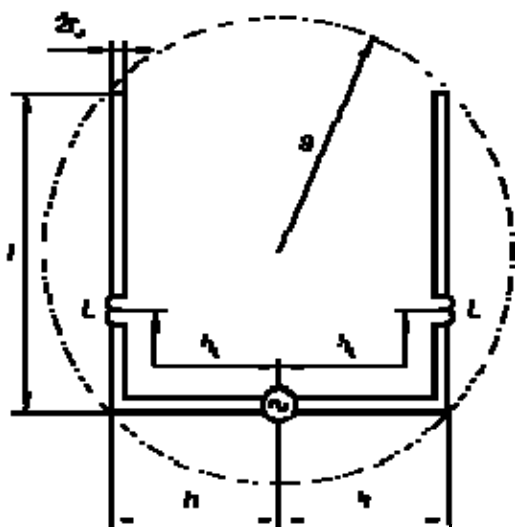


Рис. 1. Симметричная П-образная антенна

Расчет в первом приближении значений индуктивностей ИН, необходимых для компенсации отри-

цательной составляющей входного сопротивления ЭМА и для обеспечения в ЭМА режима первого последовательного резонанса ($X_{in} = 0$) выполняем по формуле из работ [1, 2]:

$$L_{rez} = \frac{W}{4\pi f} \{ \text{ctg}[\eta k(d - h_L)] - \text{tg}(\eta k h_L) \}, \quad (1)$$

где L_{rez} – значение ИН, обеспечивающее резонанс тока на входных клеммах антенны, W – волновое сопротивление ЭМА, $W = 120 [2,3 \cdot \lg(d/r_a) - 1]$, η – коэффициент укорочения волны в свободном пространстве, $\eta = 1 + [4,6 \cdot \lg(d/r_a)]^{-1}$, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; λ – длина рабочей волны.

В табл. 1 и 2 приведены результаты расчетов методом ИУ основных внутренних параметров для пяти вариантов прямолинейных симметричных ЭМА при соблюдении постоянного соотношения $d/r_a = 50$ ($\Omega = 9,21$) и напряжении возбуждения 1 В. Исследуются электрические размеры ЭМА, изменяющиеся в широких пределах от $d/\lambda = 0,16$ до $d/\lambda = 0,016$ (варианты 1 – 5). Для сравнения в табл. 1 даны результаты расчетов (курсивом) обычного симметричного полуволнового вибратора ($d/\lambda = 0,25$) с таким же соотношением $d/r_a = 50$ (вариант 6). В обеих таблицах приведены комплексные значения тока (I_{in}), комплексные входные сопротивления (Z_{in}) и мощности (P_{in}) на входных клеммах ЭМА, при этом P_{in} при напряжении на входе ЭМА равно 1 В эквивалентна по значению модулю входного тока. В табл. 1 приведены данные для ЭМА без ИН, а в табл. 2 для тех же ЭМА – с включенными ИН, значения которых рассчитаны по формуле (1), а затем оптимизированы методом ИУ для получения в ЭМА режима последовательного резонанса тока.

Таблица 1

d/λ	ka	Параметры ЭМА до включения ИН				
		$iX_L, \text{Ом}$	I_{in}, mA	$Z_{in}, \text{Ом}$	КСВН, $W_f = 50 \text{ Ом}$	$P_{in}, \text{ВА}$
0,16	1,00	0	0,04+i1,34	22,7-i744,3	491	$1,3 \cdot 10^{-3}$
0,12	0,75	0	0,01+i0,08	12-i1256	2636	$8 \cdot 10^{-5}$
0,06	0,38	0	0,00+i0,33	2,8-i3023	65790	$3,3 \cdot 10^{-4}$
0,025	0,16	0	0,00+i0,13	0,5-i7490	$2 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
0,016	0,10	0	0,00+i0,08	0,2-i11772	$>2 \cdot 10^6$	$80 \cdot 10^{-4}$
0,25	1,57	0	10,9-i5,31	74,2+i36	2,00	$1,2 \cdot 10^{-2}$

Полученные при этом значения положительного реактивного входного сопротивления X_{in} ЭМА (рис. 2, б) достаточно скомпенсировать в точках возбуждения ЭМА дополнительным отрицательным реактивным сопротивлением, включенным, например, в точках возбуждения ЭМА, и полное согласование ЭМА с подводящим фидером будет обеспечено. При этом должно соблюдаться условие $W_f = R_{in}$. Компьютерный анализ методом ИУ также показал, что значение ИН, необходимой для обеспечения последовательного резонанса в излучателе ($X_{in} = 0$), мало зависит от конфигурации излучателя и места расположения на нем возбуждающих источников (h_u).

При выполнении работы получены следующие результаты:

– Существенное улучшение качества работы антенны. Проведенные исследования показали, что включение в определенных точках в разрывы излучающих ветвей ЭМА индуктивных нагрузок позволяет не только устранить отрицательное реактивное сопротивление на входных клеммах ЭМА, но и существенно повышать активную составляющую ЭМА. Это открывает широкие возможности для повышения КПД ЭМА при упрощении ее согласования с подводящим фидером.

– Определены оптимальные координаты и значения ИН, включаемых в ЭМА.

– Показано, что полное согласование входа ЭМА с подводящим фидером можно выполнить с помощью индуктивной и емкостной нагрузок, включаемых в определенных расчетных точках излучающих ветвей ЭМА, не выходя за пределы ее конструкции.

Список литературы

1. Овсянников В.В. Вибраторные антенны с реактивными нагрузками. – М.: Радио и связь, 1985. – 120 с.
2. Овсянников В.В. Анализ и оптимизация антенных устройств из электрически коротких штыревых вибраторов с индуктивными нагрузками // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2002. – Т. 45, № 1. – С. 56-63.
3. Овсянников В.В., Романенко Е.Д. Расчет распределения амплитуды и фазы тока и входных сопротивлений вибраторных антенн. – Fortran – БСЭМ-6 / Гос. фонд алгоритмов и программ СССР “Системы автоматизированного проектирования”. – М., 1986. – 25 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.В. Овсянніковим 26.05.09

УДК 621.31

В.П. Диденко

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИСКРБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Визначено, що час встановлення початкової напруги на розряді не перевищує 3...4 нс. Розроблено розрахункові моделі розмикання та замикання для оцінки іскробезпеки електричних кіл за допомогою аналогового моделювання.

Определено, что время установления начального напряжения на разряде не превышает 3...4 нс. Разработаны расчетные модели разрядов размыкания и замыкания для оценки искробезопасности электрических цепей с помощью аналогового моделирования.

It is determined that a period of initial discharge voltage settling does not increase 3...4 ns. Computable models of breaking and closing discharges are developed to estimate intrinsic safety of electric circuits with the help of continuous simulation.

Постановка проблеми и её связь с научными и практическими задачами. В настоящее время развитию расчетных методов оценки искробезопасности уделяется всё большее внимание. Высказывается мнение исследователей о необходимости использования данных методов в качестве основных, а экспериментального с помощью взрывной камеры – для проверки полученного результата. Так, расчетный метод, основанный на оценке энергии разряда в зависимости от его длительности и скорости коммутации, включен в ГОСТ Р 51330.10 [1] и допущен к приме-

нению при сертификации взрывозащищенного оборудования.

Одной из важных составляющих успешного применения расчетной оценки искробезопасности является достоверное моделирование разряда. Система уравнений, представляющая математическую модель разряда в слаботочной электрической цепи и учитывающая динамические свойства его плазмы, приведена в работе [2]. Она может быть использована для анализа электрических цепей расчетными методами.

Для оценки искробезопасности, основанной на анализе переходных процессов в цепи, наиболее эф-

фективними являються програмні пакети аналогового моделювання «MicroSim» фірми MicroSim Corporation [3] і «Micro-Cap» фірми Spectrum Software [4]. Їх особенністю являється те, що робота в них приближається к фізическому макетированию, но физические модели применяемых элементов заменяются математическими.

Целью настоящей работы является создание моделей разрядов для оценки искробезопасности электрических цепей с помощью аналогового моделирования.

Изложение основного материала. По своему отображению подготавливаемое задание для расчета имеет вид схемы электрической принципиальной (рис. 1).

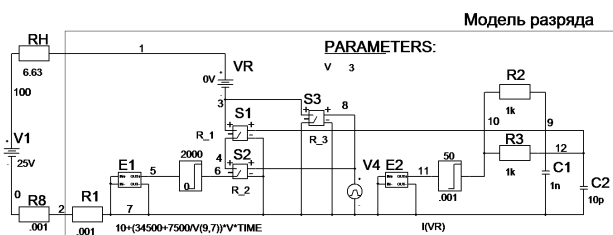


Рис. 1. Расчетная схема для моделирования разряда в омической цепи

Омическая цепь на рис. 1 представлена источником напряжения V1 напряжением 25 В и резистором RH сопротивлением 6,63 Ом. Остальная часть схемы, выделенная прямоугольником, представляет собой модель разряда. Основным элементом модели является источник напряжения E1, заданного выражением $10+(34500+7500/V(9,7))*V*TIME$. Значение напряжения между узлами 9 и 7 V(9,7) равно току $i_T(t)$ по зависимости модели разряда [2]. Источник напряжения, управляемый ток, E2 формирует между узлами 11 и 7 напряжение, равное току через вспомогательный источник напряжения VR. Он имеет нулевое напряжение и служит для указанной цели. Цепочка из резистора R2 и конденсатора C1, имеющая постоянную времени $\tau = 1$ мкс, моделирует инерционность тепловых процессов плазмы разряда. Ключи, управляемые напряжением, S1-S3 служат для реализации разрядов размыкания и замыкания. Источник напряжения импульсной формы V4 предназначен для управления ключами S2 и S3. Причем S2 замыкается, а S3 размыкается в начале разряда. Ключ S1 служит для отключения источника напряжения E1 в случае, если ток разряда (ток через вспомогательный источник VR) снизится до 4 мА (окончание разряда).

Ограничители, включенные между узлами 5, 6 и 11, 10, ограничивают выходные напряжения источников соответственно E1 и E2 при выходе их за допустимые пределы. Резисторы R1 и R8 являются вспомогательными и ввиду малости их сопротивления на качество моделирования не влияют.

Оператор PARAMETERS: задает значение скорости коммутации V, которая входит в уравнение напряжения на разряде, равным 3 м/с. Произведение V*TIME задает длину разрядного промежутка.

Ключи S1-S3 имеют параметры, которые задаются моделями R_1 ... R_3:

.model R_1 VSWITCH (VON = .005V VOFF = .004V RON = .001 ROFF = 1e8),

.model R_2 VSWITCH (VON = 5V VOFF = 4V RON = .001 ROFF = 1e8),

.model R_3 VSWITCH (VON = 4V VOFF = 5V RON = .001 ROFF = 1e8).

Ключ S1 замкнут при управляющем напряжении более 5 мВ и разомкнут – при менее 4 мВ, а ключ S2 замкнут при управляющем напряжении более 5 В и разомкнут – при менее 4 В. Ключ S3 является инверсным ключу S2. В замкнутом состоянии сопротивление ключей равно 1 МОм, а в разомкнутом – 100 МОм.

Расчетные зависимости тока разряда I(VR) и напряжения на нем V(1,2), построенные в программе Probe, приведены на рис. 2.

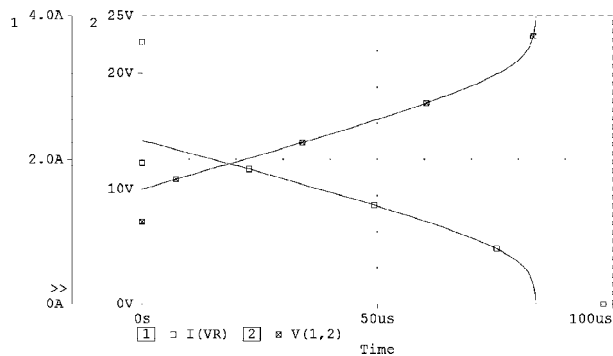


Рис. 2. Зависимости тока разряда и напряжения на нем от времени

PARAMETERS:

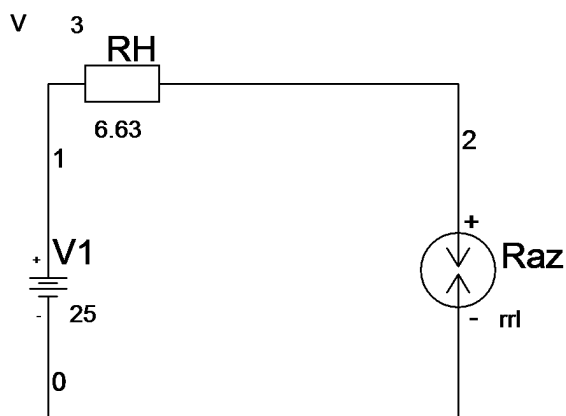


Рис. 3. Расчетная схема омической цепи, использующая макромодель разряда

Сложность использования модели разряда в пакете программ «MicroSim» вызвана вынужденным

представлением разряда с помощью источника напряжения. Это противоречит самой природе разряда, который не может быть источником выделяемой в электрическую цепь энергии, а только её потребителем. Внешнее упрощение дает замена модели разряда двухвыводным макроэлементом Raz (макромодель разряда), включающим в себя всю приведенную внутреннюю структуру разряда (рис. 3). Графическое изображение разряда представлено соответствующим символом, рядом с которым указано имя модели разряда rrl. Ясно, что на результаты расчетов такая замена не влияет, но предоставляет очевидное удобство в использовании.

Модель разряда rrl имеет текстовое описание, которое соответствует схематическому отображению на рис. 1:

```
.SUBCKT rrl 1 2
* Node 1 -> +
* Node 2 -> -
*****
* Модель дугового разряда размыкания
* V – скорость, м/с
*
*Commercial Use or Resale Restricted *
* by Symmetry License Agreement *
*****
S_S1 3 4 12 7 R_1
RS_S1 12 7 1G
S_S3 3 7 8 7 R_3
RS_S3 8 7 1G
V_V4 8 7
+PULSE 4 5 0 1e-10 1e-8 1 10
V_VR 1 3 0V
E_LIMIT2 10 2 VALUE
{LIMIT(V(11),.001,50)}
E_LIMIT1 6 2 VALUE {LIMIT(V(5),0,2000)}
S_S2 4 6 8 7 R_2
RS_S2 8 7 1G
E_E1 5 7 VALUE
{ 10+(34500+7500/V(9,7))*V*TIME }
E_E2 11 7 VALUE { I(V_VR) }
R_R1 7 2 .001
R_R2 10 9 1k
R_R3 10 12 1k
C_C1 9 7 1n
C_C2 12 7 10p IC=1
.ENDS rrl
```

Моделирование разрядов замыкания осуществляется на базе представленной модели исключением из неё (как на схеме, так и в текстовом представлении) ключа S3. В описании модели следует исключить строки «S_S3 3 7 8 7 R_3» и «RS_S3 8 7 1G».

Большое преимущество для расчета электрических цепей с разрядами имеет пакет программ «Micro-Cap» благодаря возможности задания сопротивления резистора с помощью математического выражения. При этом представление разряда соответствует его природе – потребителя энергии (рис. 4).

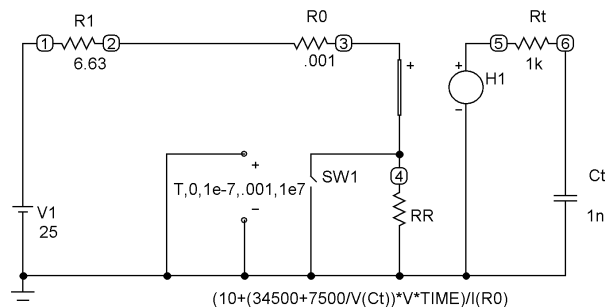


Рис. 4. Расчетная схема электрического разряда в среде «Micro-Cap» (омическая цепь)

Разряд представлен резистором RR, сопротивление которого равно напряжению на разряде по [2], деленному на ток разряда I(R0), то есть, определяется выражением $(10+(34500+7500/V(Ct))*V*TIME)/I(R0)$, где R0 – вспомогательный резистор. Источник напряжения, управляемый током, H1 формирует между узлами 5 и 0 (последним является заземленный узел) напряжение, пропорциональное току разряда. Он протекает через токовую цепь (на рис. 4 расположена слева) источника H1. Поэтому на конденсаторе Ct формируется напряжение V(Ct), равное току $i_T(t)$ по зависимости модели разряда [2]. Это напряжение используется в модели разряда. Ключ SW1 служит для моделирования замкнутого состояния контактов в цепи до коммутации. Он является ключом, управляемым по времени – в момент времени 0,1 мкс происходит изменение его состояния из сопротивления 0,001 Ом к сопротивлению 10 МОм. В нулевой момент времени, то есть в начале расчета, сопротивление изменяется в обратном направлении.

При необходимости, начальное сопротивление ключа SW1 можно задать равным конечному 10 МОм. Разряд будет начинаться не с замкнутого состояния контактов, а с падения напряжения на нем 10 В. Если нужно моделировать разомкнутое состояние контактов искробразующего механизма до коммутации, последовательно с резистором R0 может быть поставлен дополнительный ключ, аналогичный SW1.

Для изучения начального периода формирования разряда в слаботочных электрических цепях проведено осциллографирование напряжения на разрядах в омической цепи напряжением 50 В и токоограничительным резистором 98 Ом. Использован осциллограф типа Tektronix 2022В частотой пропускания аналогового канала 200 МГц. Длительность между отсчетами выставлялась минимально возможной и составляла 10 пс. Запуск осциллографа осуществлялся по достижении уровня исследуемого сигнала 8 В. Получено 25 осциллограмм, одна из них показана на рис. 5.

Характер изменения напряжения в начальное время установления разряда на полученных осциллограммах аналогичен. После увеличения напряжения до 2–3 В в начале разряда в течение 3...6 нс происходит быстрый его рост. До уровня 10 В напряжение возрастает (длительность фронта) за 3...4 нс. Это видно на рис. 5 по зависимости средних значений напряжения, которая получена усреднением отсчетов

по 25 осциллограммам. Имеющийся всплеск, вероятно, вызван переходной характеристикой аналогового тракта осциллографа. Также наиболее вероятным представляется, что большую долю в сглаживании сигнала вносит осциллограф (при частоте пропускания 200 МГц длительность периода составляет 5 нс). Поэтому время установления начального напряжения на разряде следует считать не превышающим 3...4 нс.

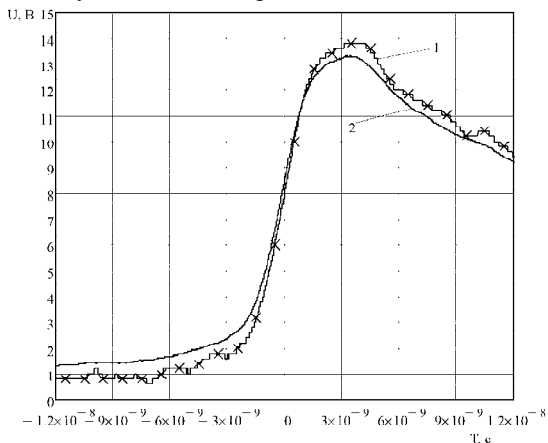


Рис. 5. Зависимости напряжения на разряде в омической цепи напряжением 50 В и резистором 98 Ом: 1 – экспериментальная, 2 – среднее значение

Данный параметр разряда имеет значение при проектировании искробезопасных источников питания, особенно, отключающихся при коммутации цепи, и для понимания процессов, происходящих при коммутации слаботочных электрических цепей.

Формирование начального падения напряжения на разряде также может быть смоделировано. Приемлемым результатом будет представление этого этапа разряда, то есть зависимости начального напряжения на разряде от времени, уравнением

$$U_0(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}}), \quad (1)$$

где U_0 – установившееся значение начального падения напряжения на разряде, τ_0 – постоянная времени, равная 1,5 нс.

Используя выражение (1), формирование начального падения напряжения можно представить графической зависимостью (рис. 6), из которой следует, что уровня 90% от установившегося значения напряжения на разряде достигает за 3,5 нс.

Начальное падение напряжения на разряде может быть смоделировано по зависимости (1), что предоставляет возможность исключить из модели разряда на рис. 4 ключ SW1. Напряжение на разряде в начальный момент будет равно нулю, что соответствует замкнутому состоянию контактов. Иногда для практических расчетов имеет смысл постоянную времени установления начального падения напряжения на разряде завязать на 1-2 порядка и принять равной, например, 0,1 мкс.

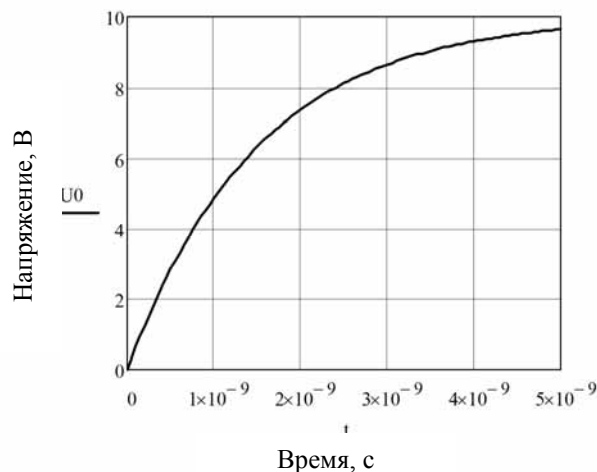


Рис. 6. Расчетная зависимость начального падения напряжения на разряде от времени

Это не отразится на точности оценки энергетических показателей разряда (выделившейся в него энергии и его длительности), но исключит необходимость выбора очень малого шага по времени для расчета начального участка разряда и значительно увеличит шансы получения достоверных результатов при моделировании. Зависимость сопротивления разряда примет вид

$$(10 \cdot (1 - \exp(-\text{TIME}/1e-7)) + (34500 + 7500/V(\text{Ct})) \cdot V \cdot \text{TIME}) / I(R0).$$

Таким образом, разработанные модели позволяют задавать разряды размыкания и замыкания при расчетах различных электрических цепей.

Выводы и результаты: определено, что время установления начального напряжения на разряде не превышает 3...4 нс. Разработаны расчетные модели разрядов размыкания и замыкания для оценки искробезопасности электрических цепей с помощью аналогового моделирования.

Список литературы

- ГОСТ Р 51330.10-99 Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь «i»; Введ. 01.01.2001 – М.: Госстандарт России. – 2000. – 118 с.
- Диденко В.П. Совершенствование математической модели слаботочного электрического разряда // Вісник Нац. техн. ун-ту України «КПІ», серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. Вип. 16. – К., 2008. – С. 103-107.
- MicroSim Pspice A/D. Circuit Analysis Software. References Manual/ Ver. 8.0. MicroSim Corp. – Irvine, 1997 (в электронном виде).
- Micro-Cap 9. Electronic Circuit Analysis Program. User's Guide. Copyright 1982-2007 by Spectrum Software 1021 South Wolfe Road Sunnyvale, CA 94086. Internet: www.spectrum-soft.com.

Рекомендовано до публікації д.т.н. А.Г. Мнухіним 28.04.09

БАЛАНС ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИ СЖИГАНИИ СМЕСИ КАМЕННОГО УГЛЯ И ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Наведено метод і математичну модель розрахунку екологічної ефективності застосування сумішей вугілля й відходів деревини для енергетичних цілей. У цій моделі змінні: якісні параметри вугілля, характеристика відходів деревини, енергетична позірність чіткість й чіткість інсталяції видалення пилу. Порівнювальні аналізи проведені для різних пропорцій кам'яного вугілля й відходів деревини в паливній суміші й для різної вологості відходів деревини. Розраховано відхилення одиничного викиду окремих забруднень на 1 мг експлуатаційної енергії й сумарний економічний ефект, від зниження оплат за викиди забруднень.

Представлен метод и математическая модель расчёта экологической эффективности применения смеси угля и отходов древесины для энергетических целей. В этой модели переменные: качественные параметры угля, характеристика отходов древесины, энергетическая чёткость котла и чёткость инсталляции удаления пыли. Сравнительные анализы проведены для разных пропорций каменного угля и отходов древесины в топливной смеси и разной влажности отходов древесины. Вычислены отклонения единичного выброса отдельных загрязнений на 1 мг эксплуатационной энергии и суммарный экономический эффект при снижении оплат за выбросы загрязнений.

A methodology and mathematic model of ecological effectiveness of the use of coal-wood waste mixture for energy production is presented. In the model the variables are: quality of coal, chosen characteristic parameters of wood wastes, cost of wood wastes, efficiency of boiler and efficiency of dust elimination installation. The analyses were performed for different coal- wood wastes proportion in the mixture as well as for different moisture content in wood wastes. The results of the calculations are: deviation of unit emission for particular wastes calculated by reference 1 GJ of usable energy and economical effects ensuing from reduction of environmental payments.

Введение. Директивы Европейского Союза предлагают получать часть энергии в профессиональной энергетике из возобновленных источников. Один из методов достижения этой цели – применение топливных смесей угля и отходов древесины. В данной статье приведен анализ выброса загрязнений воздуха при применении этих смесей.

Использование энергетических смесей с отходами древесины влияет не только на количество энергии, получаемой из одной тонны этого топлива, но также на величину выброса загрязнений. Интересен расчёт величины этих выбросов на 1 ГДж эксплуатационной энергии, получаемой на выходе из энергетического котла, называемой *единичным выбросом*.

Вопрос, рассматриваемый в данной статье касается сравнения величины единичных выбросов разных загрязнений при сжигании топливных смесей по отношению к сжиганию только угля.

Предметом анализов были выбросы следующих загрязнений: пыли, двуокиси угля, двуокиси серы и окисей азота. Экономическая мера баланса выброса загрязнений – средовые оплаты, т.е. отклонение суммы изменений оплат, при сжигании энергетических смесей по сравнению со сжиганием только каменного угля.

На величину единичных выбросов могут влиять по крайней мере две переменные: доля отходов древесины в топливной смеси и влажность отходов древесины. Для вариантных анализов приняли изменение доли отходов древесины в топливной смеси с 1 до 21% и влажности отходов древесины с 10 до 60%.

В симуляционных вычислениях приняты следующие параметры каменного угля: калорийность топлива $Q'_i = 22\,870$ кДж/кг, содержание серы в рабочем состоянии $S'_i = 0,71\%$, содержание золы в рабочем состоянии $A'_i = 15,25\%$, содержание угля в рабочем состоянии $c_r = 58,68\%$.

Приняты следующие выходные параметры отходов древесины: влажность 10%, содержание водорода $x = 6\%$, теплота сжигания $Q = 18\,000$ кДж/кг, калорийность топлива $Q'_i = 16\,445,9$ кДж/кг.

Принято также, что:

содержание горючих частей в топочных отходах, выбрасываемых в атмосферу, = 25 %; тепловая чёткость котла брутто $\eta_k = 92\%$; чёткость инсталляции удаления пыли выхлопных газов $\eta_{одр} = 92\%$; содержание серы в древесине = 0,71%; единичная ставка оплаты за выброс пыли 0,27 зл/кг; единичная ставка оплаты за выброс двуокиси угля 0,00022 зл/кг; единичная ставка оплаты за выброс двуокиси серы 0,41 зл/кг.

Для энергетических смесей угля и отходов древесины принимали, что часть выброса двуокиси углерода при сжигании древесины равна 0 (зелёная энергия).

Алгоритмы вычислений и результаты

Баланс энергии рассчитывали по следующим математическим формулам:

$$P^r = P^a * (100 - W^a) / 100,$$

где P^r – содержание отдельных компонентов топлива – содержание влаги, водорода, серы в угле, теплота сжигания в рабочем состоянии [%]; P^a – содержание влаги, серы, элемента угля, теплота сжигания в ана-

литическом состоянии [%]; W^a – содержание гигроскопической влаги (аналитической) [%];

$$Q_i^r = Q_i^a \cdot (100 - W^a) / 100 - 24,42 \cdot W^a,$$

где Q_i^r – калорийность в рабочем состоянии [кДж/кг]; Q_i^a – калорийность в аналитическом состоянии [кДж/кг];

$$Q_i^a = Q_s^a - 24,42 \cdot (8,94 \cdot H^a + W^a),$$

где Q_s^a – теплота сжигания в аналитическом состоянии [кДж/кг]; H^a – содержание водорода в аналитическом состоянии [%].

Расчет единичной калорийности древесины в рабочем состоянии в кДж/кг в зависимости от влажности приведен в табл. 1.

Таблица 1

Единичная топливная калорийность древесины в рабочем состоянии в зависимости от влажности

Влажность, w	0,10	0,20	0,30	0,40	0,45	0,50	0,60
Содержание водорода, h	0,060	0,053	0,047	0,040	0,037	0,033	0,027
Теплота сжигания в аналитическом состоянии, Q	18000	16 000,0	14 000,0	12 000,0	11 000,0	10 000,0	8 000,0
Калорийность, кДж/кг	16 445,9	14 347,3	12 248,6	10 149,9	9 100,6	8 051,3	5 952,6

Источник: [3]

В табл. 2 (а, б) приведен баланс эксплуатационной энергии при сжигании 1 мг смеси углерода и отходов древесины в разных пропорциях

компонентов и разной влажности древесины. Графически зависимости по данным из табл. 2 показаны на рис. 1.

Баланс эксплуатационной энергии при сжигании 1 мг смеси угля и отходов древесины [ГДж]

а)

Уголь, кг	1000	990	980	970	960	950	940	930	920	910	900
Древесина, кг	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Влажность, w											
0,1	21,0404	20,9813	20,9222	20,8631	20,8040	20,7449	20,6858	20,6267	20,5676	20,5085	20,4494
0,2	21,0404	20,9620	20,8836	20,8052	20,7268	20,6484	20,5699	20,4915	20,4131	20,3347	20,2563
0,3	21,0404	20,9427	20,8450	20,7472	20,6495	20,5518	20,4541	20,3564	20,2587	20,1609	20,0632
0,4	21,0404	20,9234	20,8064	20,6893	20,5723	20,4553	20,3383	20,2212	20,1042	19,9872	19,8702
0,5	21,0404	20,9041	20,7677	20,6314	20,4951	20,3587	20,2224	20,0861	19,9497	19,8134	19,6771
0,6	21,0404	20,8848	20,7291	20,5735	20,4178	20,2622	20,1066	19,9509	19,7953	19,6396	19,4840

б)

Уголь, кг	890	880	870	860	850	840	830	820	810	800	790
Древесина, кг	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Влажность, w											
0,1	20,3903	20,3312	20,2721	20,2130	20,1539	20,0948	20,0357	19,9766	19,9175	19,8584	19,7993
0,2	20,1779	20,0995	20,0211	19,9427	19,8643	19,7859	19,7074	19,6290	19,5506	19,4722	19,3938
0,3	19,9655	19,8678	19,7701	19,6724	19,5746	19,4769	19,3792	19,2815	19,1838	19,0861	18,9883
0,4	19,7531	19,6361	19,5191	19,4021	19,2850	19,1680	19,0510	18,9340	18,8169	18,6999	18,5829
0,5	19,5407	19,4044	19,2681	19,1317	18,9954	18,8591	18,7228	18,5864	18,4501	18,3138	18,1774
0,6	19,3284	19,1727	19,0171	18,8614	18,7058	18,5502	18,3945	18,2389	18,0832	17,9276	17,7720

Источник: собственные вычисления

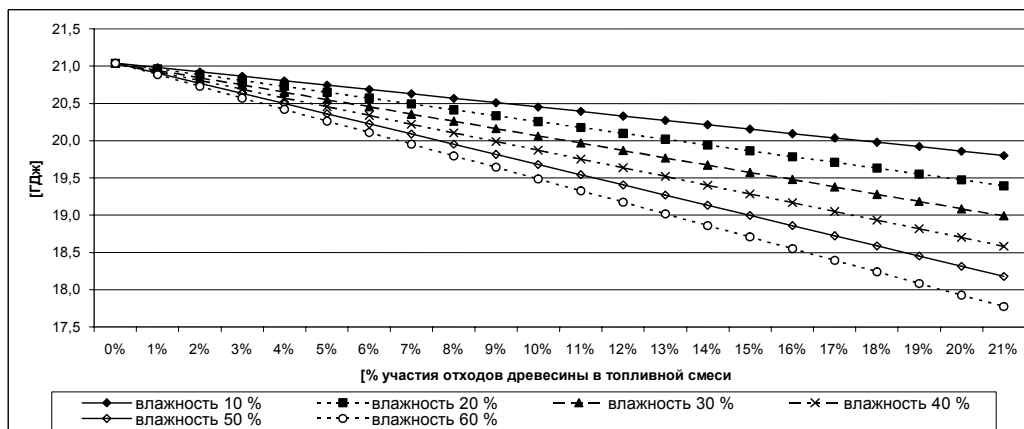


Рис. 1. Баланс эксплуатационной энергии при сжигании 1 мг смеси угля и отходов древесины

Баланс выброса загрязнений (пыль, двуокись углерода, двуокись серы, окиси азота).

Для расчета величины выброса загрязнений в атмосферу использовали следующие математические формулы:

$$E_{CO_2} = I_{CO_2} \cdot B;$$

$$I_{CO_2} = (M_{CO_2}/M_c) \cdot (c_r - c_{одп.пал});$$

$$c_{одп.пал} = a \cdot A^r \cdot c_{sr} / (100 - c_{sr}),$$

где E_{CO_2} – величина выброса двуокиси углерода [мг]; I_{CO_2} – индикатор выброса двуокиси углерода (для каменного угля – $3,677 \cdot c_r$, для отходов древесины – 0) [кг/мг]; B – расход данного компонента топлива [мг]; M_{CO_2} – молекулярная масса двуокиси углерода; M_c – молекулярная масса углерода; c_r – содержание углерода в топливе; $c_{одп.пал}$ – содержание углерода в топочных отходах; a – коэффициент концентрации золы (для каменного угля – 0,9, для древесины – 0,65); A^r – содержание золы в топливе в рабочем состоянии [%]; c_{sr} – содержание углерода в смеси шлака и летучей золы [%],

$$E_{SO_2} = IS \cdot B,$$

где IS – индикатор выброса двуокиси серы (для каменного угля и отходов древесины: $16 \cdot S^r$) [кг/мг]; S^r – содержание общей серы [%];

$$E_{NOX} = IN \cdot B,$$

где E_{NOX} – величина выброса окисей азота; IN – индикатор выброса окисей азота (для каменного угля – 4, для древесины – 2) [кг/мг]; B – расход данного компонента топлива [мг];

$$E_{пыл\ wk} = IP_{wk} \cdot B \cdot (100 - \eta_{одп}) / (100 - k),$$

где $E_{пыл\ wk}$ – величина выброса пыли; IP_{wk} – индикатор выпуска пыли (для каменного угля – $2,5 \cdot A^r$, для древесины – 15) [кг/мг]; B – расход данного компонента топлива [мг]; A^r – содержание золы в рабочем состоянии [%].

Отклонения единичного выброса загрязнений в пересчете на 1 ГДж созданной энергии (для сравнения сжигания энергетических смесей и самого угля) приведены в табл. 3-6 и на рис. 2-5.

Таблица 3

Отклонения единичного выброса пыли при сжигании смеси каменного угля и отходов древесины [кг/ГДж]

а)

Уголь, кг	1000	990	980	970	960	950	940	930	920	910	900
Древесина, кг	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Влажность, w											
0,1	0,0000	-0,0009	-0,0018	-0,0027	-0,0036	-0,0045	-0,0054	-0,0063	-0,0072	-0,0081	-0,0091
0,2	0,0000	-0,0008	-0,0015	-0,0023	-0,0031	-0,0038	-0,0046	-0,0054	-0,0062	-0,0070	-0,0078
0,3	0,0000	-0,0006	-0,0013	-0,0019	-0,0026	-0,0032	-0,0039	-0,0046	-0,0052	-0,0059	-0,0066
0,4	0,0000	-0,0005	-0,0010	-0,0015	-0,0021	-0,0026	-0,0031	-0,0037	-0,0042	-0,0048	-0,0053
0,5	0,0000	-0,0004	-0,0008	-0,0012	-0,0015	-0,0019	-0,0023	-0,0027	-0,0032	-0,0036	-0,0040
0,6	0,0000	-0,0003	-0,0005	-0,0008	-0,0010	-0,0013	-0,0016	-0,0018	-0,0021	-0,0024	-0,0027

б)

Уголь, кг	890	880	870	860	850	840	830	820	810	800	790
Древесина кг	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Влажность, w											
0,1	-0,0100	-0,0109	-0,0119	-0,0128	-0,0138	-0,0148	-0,0157	-0,0167	-0,0177	-0,0189	-0,0197
0,2	-0,0087	-0,0095	-0,0103	-0,0112	-0,0120	-0,0128	-0,0137	-0,0146	-0,0154	-0,0163	-0,0172
0,3	-0,0073	-0,0080	-0,0087	-0,0094	-0,0101	-0,0109	-0,0116	-0,0123	-0,0131	-0,0139	-0,0146
0,4	-0,0059	-0,0065	-0,0070	-0,0076	-0,0082	-0,0088	-0,0094	-0,0100	-0,0107	-0,0113	-0,0119
0,5	-0,0044	-0,0049	-0,0053	-0,0058	-0,0062	-0,0067	-0,0072	-0,0076	-0,0081	-0,0086	-0,0091
0,6	-0,0030	-0,0033	-0,0036	-0,0039	-0,0042	-0,0045	-0,0048	-0,0052	-0,0055	-0,0058	-0,0062

Источник: собственные вычисления

Таблиця 4

Отклонения единичного выброса двуокиси углерода при сжигании смеси угля и отходов древесины [кг/ГДж]

а)

Уголь, кг	1000	990	980	970	960	950	940	930	920	910	900
Древесина, кг	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Влажность, w											
0,1	0,000	-0,574	-1,153	-1,736	-2,324	-2,917	-3,514	-4,117	-4,724	-5,336	-5,954
0,2	0,000	-0,492	-0,990	-1,492	-2,000	-2,513	-3,031	-3,555	-4,084	-4,619	-5,160
0,3	0,000	-0,410	-0,826	-1,247	-1,673	-2,105	-2,543	-2,986	-3,435	-3,890	-4,350
0,4	0,000	-0,328	-0,662	-1,001	-1,345	-1,694	-2,049	-2,409	-2,775	-3,147	-3,525
0,5	0,000	-0,246	-0,497	-0,753	-1,013	-1,279	-1,549	-1,825	-2,106	-2,392	-2,684
0,6	0,000	-0,164	-0,332	-0,504	-0,679	-0,860	-1,044	-1,233	-1,426	-1,623	-1,826

б)

Уголь, кг	890	880	870	860	850	840	830	820	810	800	790
Древесина, кг	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Влажность, w											
0,1	-6,576	-7,203	-7,836	-8,474	-9,117	-9,765	-10,418	-11,077	-11,741	-12,411	-13,086
0,2	-5,706	-6,257	-6,815	-7,379	-7,948	-8,523	-9,105	-9,693	-10,287	-10,887	-11,493
0,3	-4,817	-5,289	-5,768	-6,253	-6,745	-7,243	-7,747	-8,258	-8,776	-9,301	-9,833
0,4	-3,909	-4,299	-4,695	-5,097	-5,506	-5,921	-6,343	-6,771	-7,207	-7,650	-8,099
0,5	-2,981	-3,284	-3,593	-3,908	-4,228	-4,555	-4,889	-5,229	-5,575	-5,929	-6,289
0,6	-2,033	-2,245	-2,462	-2,684	-2,912	-3,145	-3,383	-3,627	-3,877	-4,133	-4,396

Источник: собственные вычисления

Таблиця 5

Отклонение единичного выброса двуокиси серы при сжигании смеси угля и отходов древесины [кг/ГДж]

а)

Уголь, кг	1000	990	980	970	960	950	940	930	920	910	900
Древесина, кг	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Влажность, w											
0,1	0,00000	-0,0031	-0,0063	-0,0095	-0,0127	-0,0159	-0,0191	-0,0224	-0,0256	-0,0289	-0,0322
0,2	0,00000	-0,0027	-0,0055	-0,0083	-0,0110	-0,0139	-0,0167	-0,0195	-0,0224	-0,0253	-0,0282
0,3	0,00000	-0,0023	-0,0047	-0,0070	-0,0093	-0,0118	-0,0142	-0,0167	-0,0192	-0,0217	-0,0242
0,4	0,00000	-0,0019	-0,0038	-0,0058	-0,0077	-0,0097	-0,0118	-0,0138	-0,0159	-0,0179	-0,0201
0,5	0,00000	-0,0015	-0,0030	-0,0045	-0,0061	-0,0077	-0,0093	-0,0109	-0,0125	-0,0142	-0,0158
0,6	0,00000	-0,0011	-0,0022	-0,0033	-0,0044	-0,0056	-0,0067	-0,0079	-0,0091	-0,0103	-0,0116

б)

Уголь, кг	890	880	870	860	850	840	830	820	810	800	790
Древесина, кг	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Влажность, w											
0,1	-0,0355	-0,0389	-0,0422	-0,0457	-0,0490	-0,0524	-0,0559	-0,0593	-0,0628	-0,0663	-0,0698
0,2	-0,0312	-0,0341	-0,0371	-0,0402	-0,0432	-0,0462	-0,0493	-0,0524	-0,0556	-0,0587	-0,0619
0,3	-0,0267	-0,0293	-0,0319	-0,0345	-0,0372	-0,0399	-0,0426	-0,0452	-0,0481	-0,0509	-0,0537
0,4	-0,0222	-0,0244	-0,0266	-0,0288	-0,0310	-0,0333	-0,0356	-0,0379	-0,0403	-0,0426	-0,0450
0,5	-0,0176	-0,0193	-0,0211	-0,0228	-0,0246	-0,0265	-0,0283	-0,0302	-0,0321	-0,0341	-0,0360
0,6	-0,0128	-0,0141	-0,0154	-0,0167	-0,0181	-0,0194	-0,0208	-0,0222	-0,0237	-0,0251	-0,0266

Источник: собственные вычисления

Таблиця 6

Отклонения единичного выброса окисей азота при сжигании смеси угля и отходов древесины [кг/ГДж]

а)

Уголь, кг	1000	990	980	970	960	950	940	930	920	910	900
Древесина, кг	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Влажность, w											
0,1	0,00000	-0,00005	-0,00010	-0,00016	-0,00021	-0,00026	-0,00031	-0,00037	-0,00042	-0,00047	-0,00053
0,2	0,00000	-0,00004	-0,00009	-0,00013	-0,00018	-0,00022	-0,00027	-0,00031	-0,00036	-0,00040	-0,00045
0,3	0,00000	-0,00004	-0,00007	-0,00011	-0,00014	-0,00018	-0,00022	-0,00026	-0,00029	-0,00033	-0,00037
0,4	0,00000	-0,00003	-0,00006	-0,00008	-0,00011	-0,00014	-0,00017	-0,0002	-0,00023	-0,00026	-0,00029
0,5	0,00000	-0,00002	-0,00004	-0,00006	-0,00008	-0,00010	-0,00012	-0,00014	-0,00016	-0,00019	-0,00021
0,6	0,00000	-0,00001	-0,00002	-0,00004	-0,00005	-0,00006	-0,00007	-0,00009	-0,0001	-0,00011	-0,00012

б)

Уголь, кг	890	880	870	860	850	840	830	820	810	800	790
Древесина, кг	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Влажность, w											
0,1	-0,0058	-0,0064	-0,0069	-0,0075	-0,0080	-0,0086	-0,0091	-0,0097	-0,0103	-0,0108	-0,0114
0,2	-0,005	-0,0054	-0,0059	-0,0064	-0,0069	-0,0074	-0,0078	-0,0083	-0,0088	-0,0093	-0,0099
0,3	-0,0041	-0,0045	-0,0049	-0,0053	-0,0057	-0,0061	-0,0065	-0,0069	-0,0074	-0,0078	-0,0082
0,4	-0,0032	-0,0035	-0,0038	-0,0042	-0,0045	-0,0048	-0,0051	-0,0055	-0,0058	-0,0062	-0,0065
0,5	-0,0023	-0,0025	-0,0028	-0,003	-0,0032	-0,0035	-0,0037	-0,0040	-0,0042	-0,0045	-0,0047
0,6	-0,0014	-0,0015	-0,0017	-0,0018	-0,0019	-0,0021	-0,0022	-0,0024	-0,0025	-0,0027	-0,0029

Источник: собственные вычисления

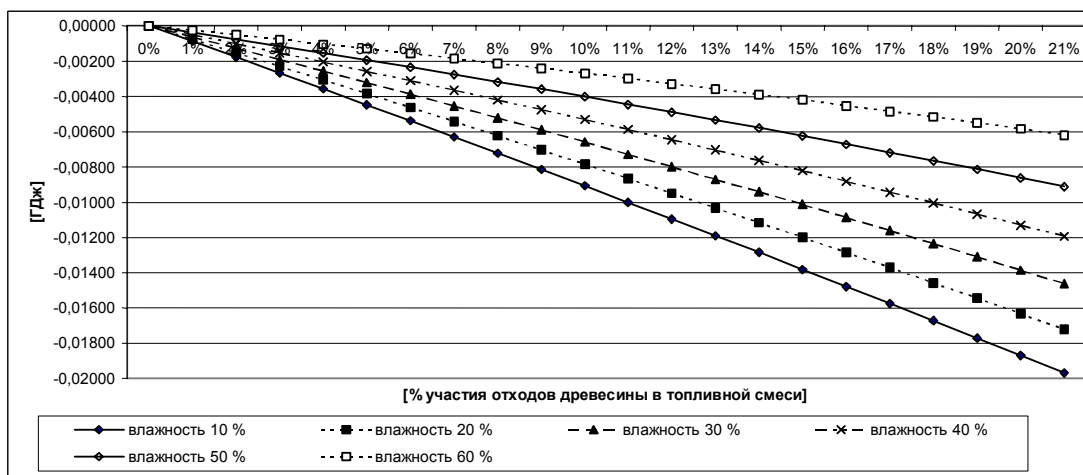


Рис. 2. Отклонения единичного выброса пыли при сжигании смеси угля и отходов древесины

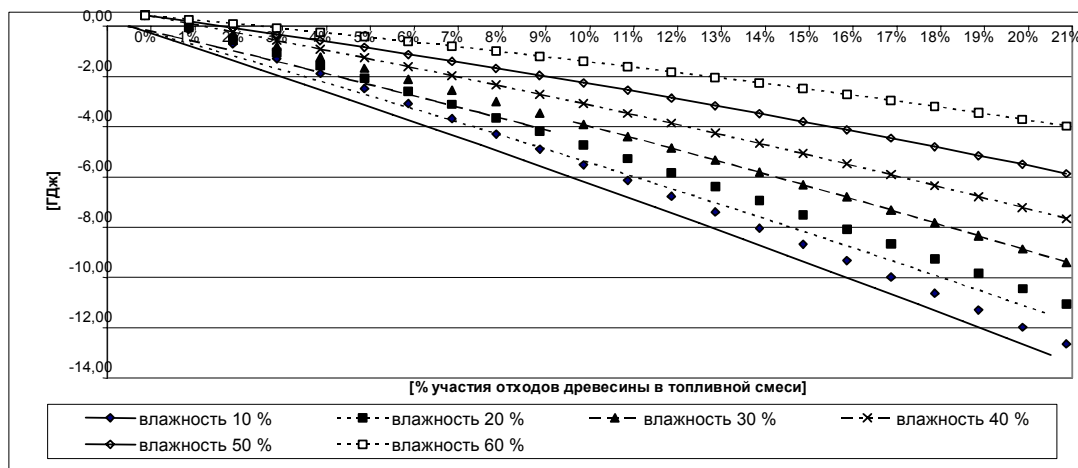


Рис. 3. Отклонения единичного выброса двуоксида углерода при сжигании смеси каменного угля и отходов древесины

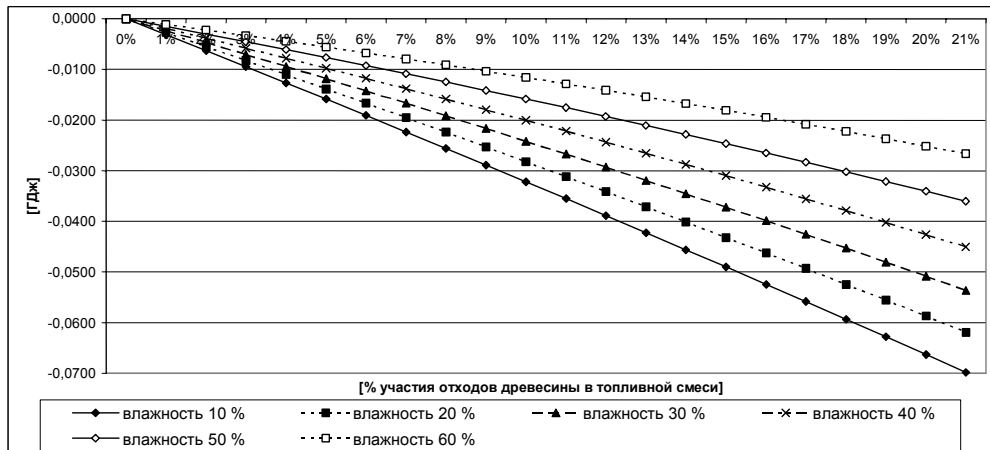


Рис. 4. Отклонения единичного выброса диоксида серы при сжигании смеси каменного угля и отходов древесины

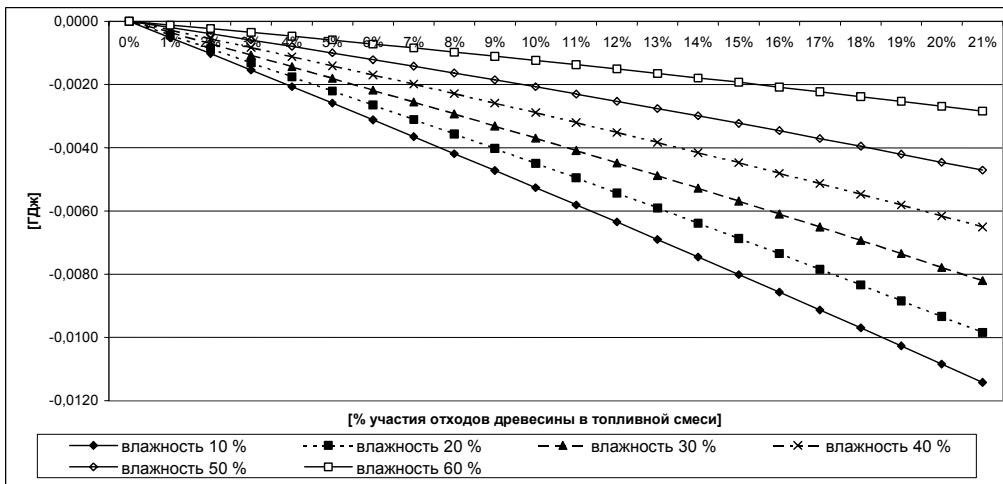


Рис. 5. Отклонения единичного выброса окисей азота при сжигании смеси каменного угля и отходов древесины

Расчет отклонений при сжигании топливных смесей по отношению к сжиганию только каменного угля. В табл. 7 даны отклонения суммарной единичной оплаты за выброс при сжигании смеси угля и отходов древесины в зл/ГДж создан-

ной энергии. Отрицательные значения обозначают экономическую пользу, возникающую при сжигании смесей в сравнении со сжиганием только угля. График изменчивости уклонов приведен в табл. 7 и показан на рис. 6.

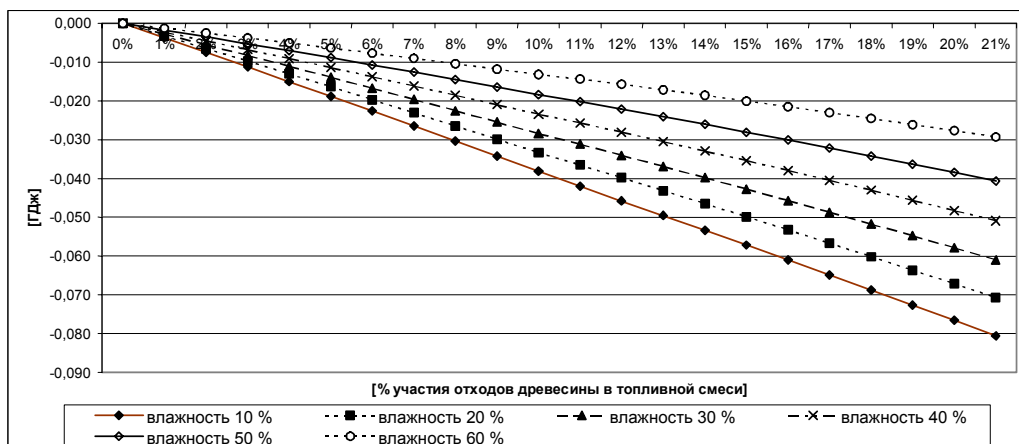


Рис. 6. Отклонения суммарной единичной оплаты за выброс при сжигании смеси каменного угля и отходов древесины

Таблица 7

Отклонение суммарной единичной оплаты за выброс при сжигании смеси угля и отходов древесины [зл/ГДж]

а)

Уголь, кг	1000	990	980	970	960	950	940	930	920	910	900
Древесина, кг	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Влажность, w											
0,1	0,00000	-0,0037	-0,0075	-0,0112	-0,0150	-0,0188	-0,0227	-0,0264	-0,0303	-0,0342	-0,0381
0,2	0,00000	-0,0032	-0,0065	-0,0097	-0,0130	-0,0163	-0,0197	-0,0231	-0,0265	-0,0299	-0,0333
0,3	0,00000	-0,0027	-0,0055	-0,0083	-0,0111	-0,0139	-0,0167	-0,0196	-0,0225	-0,0255	-0,0284
0,4	0,00000	-0,0022	-0,0045	-0,0068	-0,0091	-0,0114	-0,0138	-0,0161	-0,0185	-0,0210	-0,0235
0,5	0,00000	-0,0017	-0,0035	-0,0053	-0,0071	-0,0089	-0,0107	-0,0126	-0,0145	-0,0164	-0,0183
0,6	0,00000	-0,0012	-0,0025	-0,0038	-0,0050	-0,0063	-0,0077	-0,0090	-0,0104	-0,0118	-0,0132

б)

Уголь, кг	890	880	870	860	850	840	830	820	810	800	790
Древесина, кг	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Влажность, w											
0,1	-0,0421	-0,0458	-0,0496	-0,0534	-0,0572	-0,0611	-0,0649	-0,0688	-0,0727	-0,0766	-0,0806
0,2	-0,0365	-0,0398	-0,0431	-0,0465	-0,0499	-0,0533	-0,0567	-0,0602	-0,0636	-0,0672	-0,0707
0,3	-0,0311	-0,0349	-0,0369	-0,0398	-0,0427	-0,0457	-0,0487	-0,0517	-0,0548	-0,0579	-0,0610
0,4	-0,0257	-0,0280	-0,0305	-0,0329	-0,0354	-0,0379	-0,0404	-0,0430	-0,0456	-0,0482	-0,0509
0,5	-0,0202	-0,0221	-0,0241	-0,0260	-0,0280	-0,0300	-0,0321	-0,0342	-0,0363	-0,0385	-0,0407
0,6	-0,0143	-0,0157	-0,0171	-0,0186	-0,0200	-0,0215	-0,0230	-0,0245	-0,0261	-0,0277	-0,0293

Источник: собственные вычисления

Выводы. Из представленных анализов вытекает, что применение топливных смесей с участием отходов древесины провоцирует уменьшение выброса единичных загрязнений по сравнению со сжиганием только каменного угля. Видна очень сильная зависимость разницы выброса единичных загрязнений от влажности древесины. Чем больше влажность отходов древесины, тем меньше польза в виде уменьшения выброса в пересчёте на 1 ГДж эксплуатационной энергии.

Список литературы

1. Materiały informacyjno – instruktażowe. Wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych

do powietrza z procesów energetycznych spalania paliw, MOŚ, ZNiL, Warszawa, 1996.

2. Radović U. Zanieczyszczenie atmosfery. Źródła oraz metody oszacowania wielkości emisji zanieczyszczeń. – Centrum Informatyki Energetyki, Warszawa, 1997.

3. Stańczyk K., Krowiak A., Boniecki M. Metody oceny efektywności energetycznej i ekonomicznej zastosowania mieszanek paliwowych w energetyce zawodowej // praca statutowa №. 160 4020 5, nie publikowana – warchiwum GIG, Katowice, 2005.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бузилом 16.06.09

УДК 622.235.5

И.И. Усик, О.В. Мандрикевич

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ВОРОНКИ ДРОБЛЕНИЯ ВЗРЫВОМ ЗАРЯДА ВВ С УСЛОВИЯМИ ВЗРЫВАНИЯ

Розглянуто природоохоронні способи висадження свердловинних зарядів вибухової речовини в зоні неробочих бортів кар'єрів, що забезпечують створення відкольної тріщини для одержання заданого кута укосу уступу.

Рассмотрены природоохранные способы взрывания скважинных зарядов взрывчатого вещества в зоне неробочих бортов карьеров, обеспечивающих создание откольной трещины для получения заданного угла откоса уступа.

In operation nature protection firing methods of blasthole charges of explosive in a zone of non-working boards of the opencasts providing creation of fracture for reception of the set corner of a bench slope are considered.

Основная причина плохой устойчивости уступов нерабочих бортов карьеров, а также значительные отклонения в сторону уменьшения или увеличения углов откосов уступов от проектных значений объясняется, главным образом, нарушением массива горных пород за контуром взрыва. Это является следствием несовершенства методов взрывных работ, применяющихся при отработке уступов нерабочих бортов карьеров [1].

Анализ результатов взрывов при траншейной и фронтальной отбойке горных пород в условиях карьеров показывает, что основной причиной, вызывающей сильное разрушение массива уступа является наличие двух обнаженных поверхностей при ведении взрывных работ. При этом взрывы зарядов как в зоне перебура, так и в зоне дробления образуют воронки с максимальными радиусами на отметке верхней части взрываемого уступа и на отметке его подошвы. Вместе с тем, этот же анализ показывает, что взрывы разновеликих зарядов при одной плоскости обнажения (в зажатой среде) образуют воронки со значительно меньшими размерами, особенно в нижней части (зона действия взрыва части заряда, находящейся в перебуре скважины).

Эти выводы подтверждаются результатами исследований, проведенными с целью установления влияния различных факторов, в том числе и увеличения зажима, вследствие заглубления заряда в массив, на параметры воронки дробления, образованной взрывом части заряда, находящейся в перебуре скважины. Методикой этих исследований предусматривалось измерение отклонений фактического уровня отметки подошвы уступов различной высоты при их взрывании в зажатой среде, а так же анализ участков, где скважинные заряды взрывались в глубине массива при одной плоскости обнажения.

При многорядном взрывании скважинных зарядов основным условием, обеспечивающим разрушение массива пород до определенной отметки (проектный уровень подошвы уступа), является недопустимость образования «гребней» между взорвавшимися зарядами. Так как при многорядном взрывании геометрия размещения скважин в массиве бывает различной, т.е. скважины образуют различные многоугольники – прямоугольники, квадраты, треугольники и др., то вышестояющее условие будет выполнено тогда, когда основания воронок дробления, образованных взрывом части зарядов, находящихся в перебурах, будут соприкасаться в центре образованного ими многоугольника.

Таким образом, фактическая отметка подошвы уступа, до которой отработана взорванная горная масса, позволяет судить о величине радиуса дробления (R) и угла раствора воронки (2φ), образованной взрывом части заряда, находящегося в перебуре. При проведении исследований использовались результаты маркшейдерской съемки отметок горизонтов после экскавации взорванной горной массы и данные диспозиций массовых взрывов в условиях Рыбальского карьера. Анализ подвергались резуль-

таты взрывов при отбойке крепких гранитов с $f = 12-14$.

В процессе исследований анализировались участки, где взрывались уступы высотой 12 и 13 м. Диаметр скважин на выбранных участках составлял 0,250 м, заряды в перебурах состояли из гранулошлака. Скважины располагались в третьем и последующих рядах, схемы взрывания были диагональные с интервалом замедления между группами зарядов $35 \cdot 10^{-3}$ с. В каждом отдельном случае строились вертикальные разрезы (рис. 1) по осям скважин, находящихся на концах диагоналей прямоугольника, квадрата и равнобедренного треугольника, образованных смежными скважинными зарядами.

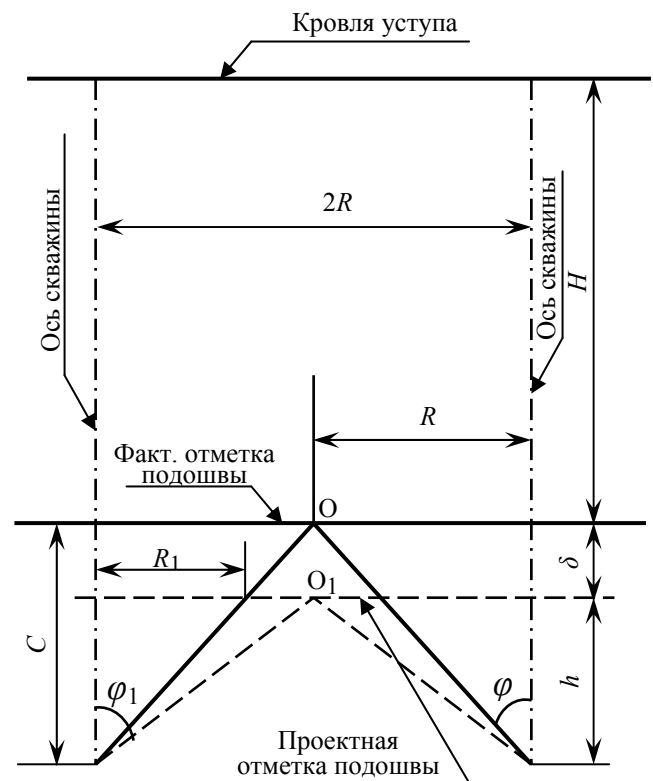


Рис. 1. Разрез уступа горных пород (гранитов) по осям скважинных зарядов ВВ

Из рис. 1 видно, что при завышении отметки подошвы уступа по отношению к проектной фактический центр многоугольника O_1 находится выше проектного O_1 на величину завышения δ .

Вследствие этого фактический угол раствора воронки дробления 2φ , образованный взрывом части зарядов, находящихся в перебуре, меньше того ($2\varphi_1$), который проектировался, причем, фактическая величина радиуса воронки дробления на проектной отметке подошвы уступа меньше проектируемой R . Таким образом, между параметрами воронки дробления, образованной взрывом части заряда, находящейся в перебуре, его величиной и высотой уступа, предопределяющую глубину заложения заряда, существует определенная связь. Основными параметрами

воронки дробления являются: радиус основания R и угол раствора 2φ . В результате исследований установлена зависимость между этими параметрами, которая описывается выражением:

$$R = 4,9 - 0,07\ell_0, \quad (1)$$

где ℓ_0 – глубина заложения заряда, м;

$$\ell_0 = H - h, \quad (2)$$

где H – высота уступа, м; h – переbur скважины, м.

Подставив (2) в (1), получим

$$R = 4,9 - 0,07(H - h), \text{ м.} \quad (3)$$

Из (3) следует, что в конкретных условиях взрывания параметры воронки дробления, обеспечивающие отработку уступа до заданной отметки, определяются глубиной перебура, который связан с радиусом воронки зависимостью:

$$\frac{R}{H} = \text{tg}\varphi, \quad (4)$$

где φ – половина угла раствора воронки, град.

Подставляя в (4) значение (3) и решая систему относительно φ , получим

$$\varphi = \text{arctg} \frac{4,9 - 0,07(H + h)}{h}. \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показывает, что угол раствора воронки дробления, образованной взрывом заряда перебура, с увеличением глубины заложения скважины, что связано с увеличением высоты уступа, уменьшается. Таким образом, изменяя глубину перебура и место его размещения в массиве, можно в определенной мере регулировать параметры воронки дробления. Последнее можно использовать при проведении взрывных работ в зоне нерабочих бортов карьеров с целью обеспечения заданной геометрии уступов при минимальной нарушенности естественной сплошности пород в его приоткосной зоне.

Список литературы

Усик І.І., Мандрікевич О.В. Природозберігаючий спосіб руйнування вибухом скальних порід уступів у зоні нерабочих бортів кар'єрів // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 2. – С. 41-44.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Франчуком 18.06.09

УДК 330.1

О.В. Коровіна

АНАЛІЗ СОБІВАРТОСТІ ПРОДУКЦІЇ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ КРИВБАСУ

Виконано аналіз динаміки собівартості продукції на гірничих підприємствах Кривбасу. Вказано шляхи управління собівартістю.

Выполнен анализ динамики себестоимости продукции на горных предприятиях Кривбасса. Указаны пути управления себестоимостью.

The analysis of dynamics of product cost on mines of the country is conducted. Ways of management are specified by the cost price.

Випуск експортоорієнтованої залізородної продукції має стратегічно важливе значення для України і вимагає постійної уваги до проблеми забезпечення його ефективності, зокрема до зниження всіх видів витрат. Становить інтерес дослідження зміни собівартості продукції залізородних підприємств, на основі статистичних даних ДНДГРІ за відповідні роки [1-3] і можливих чинників, що впливають на її рівень, з метою управління ними.

Динаміка товарної продукції та її собівартості на низці залізородних підприємств України подана на рис. 1. За об'ємом товарної продукції в басейні лідували гірничозбагачувальні комбінати (ГЗК), при цьому за всі роки її найбільша величина була характерна для ВАТ "ПівніГЗК", а максимальний рівень, досягнутий в 2007 р. склав 4837 млн. грн, що в 2,62 разу перевищує показник цього комбінату за 2004 р.

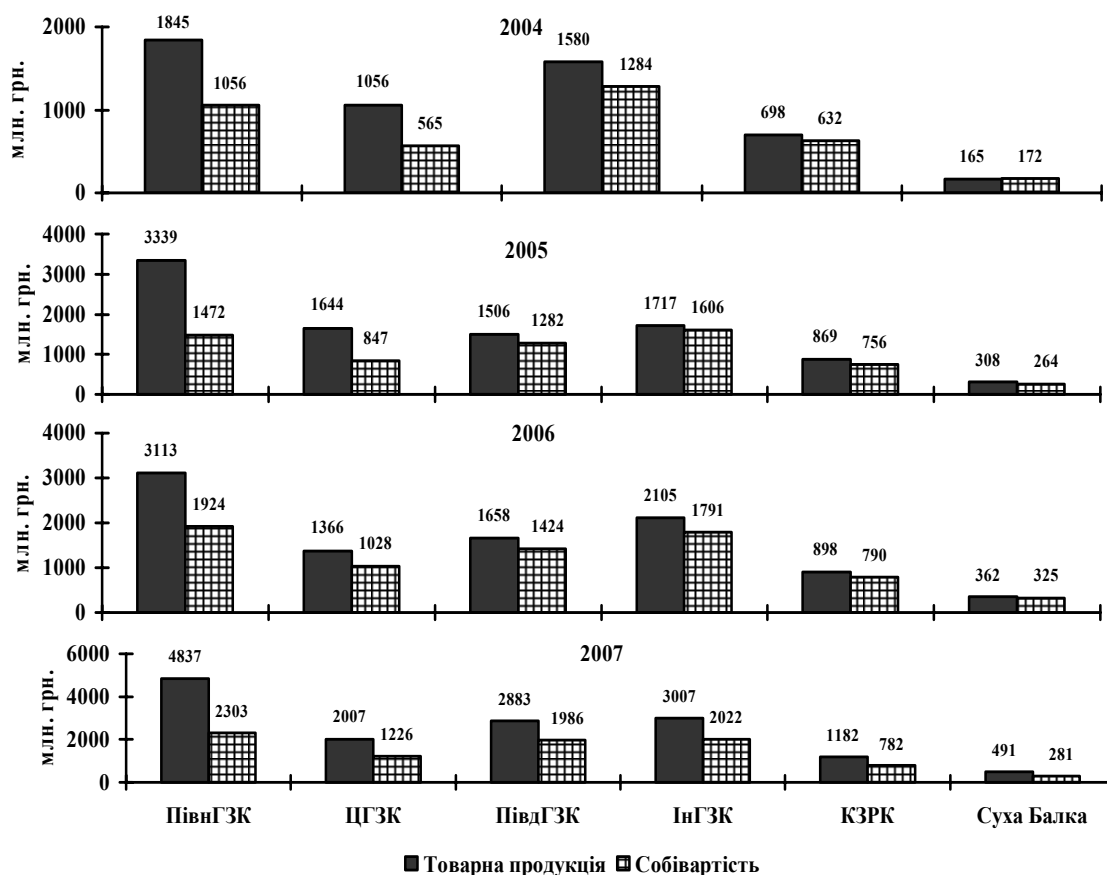


Рис. 1. Динаміка товарної продукції та її собівартості

Серед підземних залізородних підприємств Кривбасу найбільшим рівнем товарної продукції характеризувалося ВАТ "КЗРК", в той же час її величина помітно поступала-

ся відповідному показнику будь-яким з ГЗК: наприклад, в 2007 р. по відношенню до ВАТ "ПівніГЗК" в 4,1 разу, а "ЦГЗК" в 1,7 разу. У той же час рівень товарної продукції

ВАТ “КЖРК” у вказаному році, вельми помітно, в 2,41 разу, перевершував показник ВАТ “Суша Балка”.

Динаміка собівартості товарної продукції свідчить, що найбільші по обсягах виробництва підприємства відрізнялися більшою різницею між величиною товарної

продукції і витратами на її виробництво, особливо це стосується ВАТ “ПівнГЗК”.

Істотні коливання (рис. 2) впродовж 2004-2007 рр. були характерні для рівня витрат на 1 грн товарної продукції.

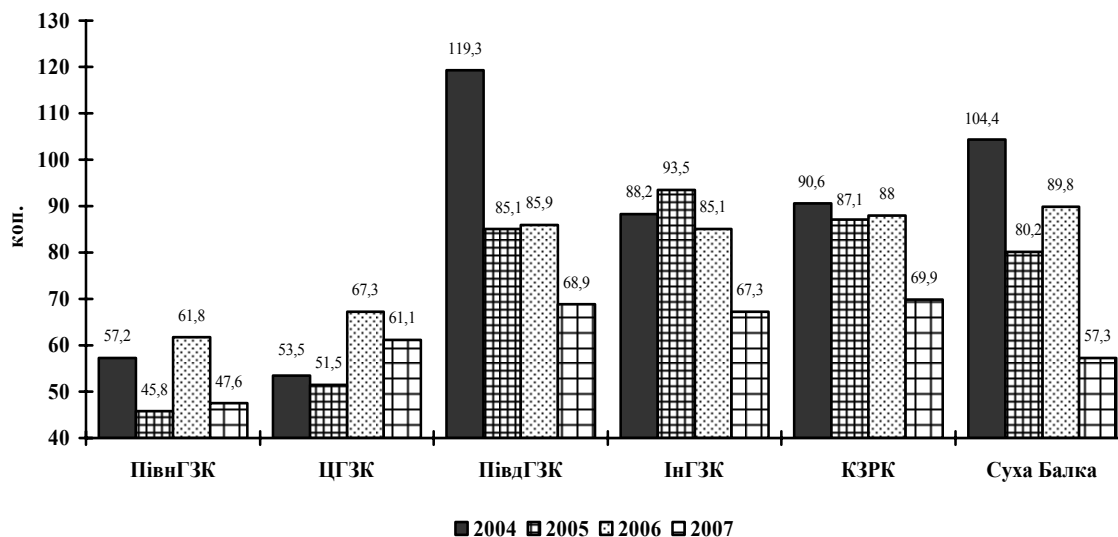


Рис. 2. Зміна витрат на 1 грн товарної продукції: а – на підземних підприємствах; б – на ГЗК

На підземних підприємствах дуже нестійким рівнем таких витрат відрізнялося ВАТ “Суша Балка”. Це підприємство мало як завищений показник витрат – 104,4 коп. в 2004 р., так і досить низький – 57,3 коп. в 2007 р. Стійкішим характером відрізнялося положення на ВАТ “КЖРК”. І тут 2007 р. відмічений помітним зниженням витрат на 1 грн товарної продукції, до 69,9 коп., що все ж на 12,6 коп., або на 22% вище за показник ВАТ “Суша Балка”.

Виникає питання: як співвідносяться між собою витрати на 1 грн товарної продукції підприємств з підземним і відкритим способами розробки родовища. Частина ГЗК, а саме ПівнГЗК та ЦГЗК упродовж всього аналізованого періоду мала помітно нижчі витрати, ніж шахти, тоді як інші комбінати – ПівдГЗК та ІнГЗК відрізнялися порівнянними з підземними підприємствами рівнями витрат.

Таким чином, принаймні в межах розглянутого нами короткого періоду часу не можна однозначно стверджувати про вартісні переваги того або іншого способу розробки.

Зіставлення різних видів витрат в структурі собівартості продукції на підземних підприємствах за період 2004-2007 рр. (рис. 3) свідчить про наступне.

На ВАТ “КЗРК” сталася помітна зміна питомої ваги домінуючих по величині матеріальних витрат. Так, якщо в 2004 р. вони склали 39,2% собівартості, в 2005 р. скоротилися до 29,8%, у 2006 р. різко зросли – до 50%, а в 2007 р., дещо зменшившись, склали 45,4%.

Більшою стабільністю відрізнялися матеріальні витрати на ВАТ “Суша Балка”, залишаючись за період, що розглядається нами, в межах 39,3-44,2%.

Порівняно високим рівнем в структурі собівартості відрізняється на шахтах Кривбасу доля оплати праці, складаючи для “КЗРК” в різні роки від 20,7 до 25,9% і “Сухої Балки” – від 26,2 до 30,5%.

Аналогічно залізрудним шахтам в структурі витрат на виробництво продукції на ГЗК переважають матеріальні витрати (рис. 3), проте, їх домінування виражене тут значно сильніше. У 2004 р. найменша питома вага матеріальних витрат спостерігалася на ВАТ “ПівдГЗК” – 46,1%, а найбільша – 62,3% на ВАТ “ІнГЗК”. У 2006 р. помітно зросла доля матеріальних витрат на ПівнГЗК – до 72,9%, але в 2007 р. вона знову зменшилася до 59,7%. На ГЗК питома вага оплати праці помітно менше, ніж на шахтах, в межах 11-16%.

Аналіз собівартості одиниці переділів (рис. 4) на ГЗК у 2007 р. свідчить про яскраво виражене домінування витрат на огрудування, агломерацію, що характерно для обох ГЗК. Проте у той час як на ЦГЗК на другому місці знаходяться витрати на добування, на ПівнГЗК це місце займають витрати на збагачення. На обох підприємствах дуже обмеженими відносно інших є витрати на подрібнення. Співставлення витрат на ЦГЗК до ПівнГЗК (рис. 4) свідчить про помітно більший їх рівень (за винятком розкриття) на першому підприємстві. Отримані результати можуть бути показовими для пошуку резервів скорочення витрат з урахуванням технологічних особливостей ГЗК.

Собівартість продукції – найважливіший показник, що є інтегральним віддзеркаленням ефективності виробництва, зумовлює рівень рентабельності продукції, виробленої на підприємстві, і виступає як чинник, що найбільшою мірою впливає на його конкурентні позиції в умовах наростаючої глобалізації світової економіки, особливо враховуючи останні тенденції різкого подорожчання всіх видів енергетичної сировини.

Управління собівартістю повинне виражатися в неухильному проведенні наступних заходів:

– приведення у відповідність величини продукції, що випускається, і виробничих потужностей, об'єктів інфраструктури;
 – зниження матеріальних і в першу чергу енергетичних витрат при виробництві продукції;

– масштабна реконструкція виробництва на основі впровадження нових технологій і устаткування;
 – оптимізація кадрового потенціалу підприємств і впровадження нових методів управління.

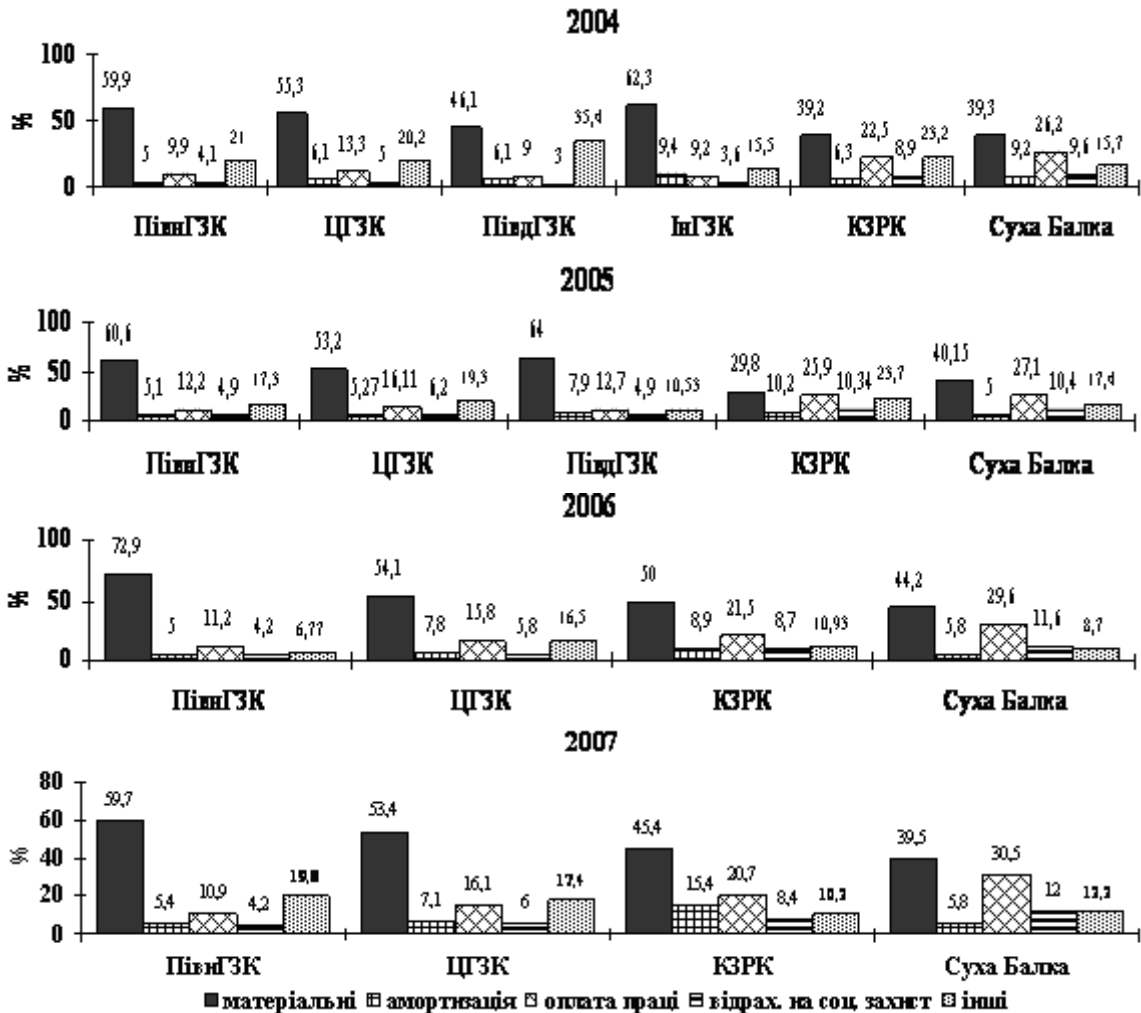


Рис. 3. Структура витрат у собівартості продукції

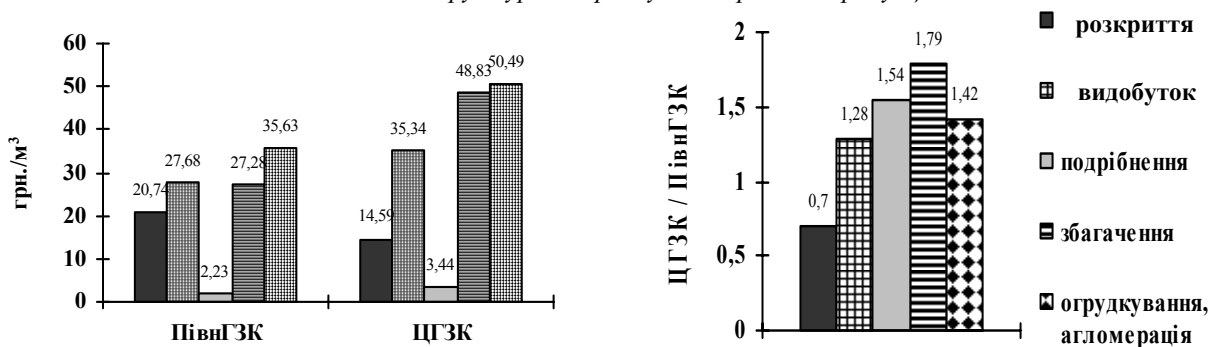


Рис. 4. Собівартість одиниці переділів

Розглянемо конкретніше деякі інноваційні проекти в рамках зниження витрат на залізорудних підприємствах. Слід відзначити, що підтримання високого рівня ефекти-

вності вимагає вирішення не окремих, а всього комплексу взаємопов'язаних завдань залізорудного виробництва. Як організаційно-управлінські інновації можна розглядати оптимізацію термінів і темпів робіт по будівницт-

ву нових горизонтів шахт замість відпрацьованих. Економічний ефект виникає тут як у разі забезпечення своєчасного введення горизонту в дію і запобігання зупинці видобутку руди на шахті, так і за рахунок найбільш раціональних темпів ведення прохідницьких робіт.

В умовах глибоких кар'єрів вельми значних витрат на розкривні роботи і екологічного збитку становить інтерес застосування комбінованого відкрито-підземного видобутку корисної копалини. Іноді для цього можуть бути використані шахти, що знаходяться поряд з кар'єрами, які діють або припинили свою роботу. Через стовбури таких шахт можлива видача руди на поверхню.

Гірничотехнічні умови розробки родовищ корисної копалини найближчими роками характеризуватимуться подальшим збільшенням глибини кар'єру і відстаней транспортування, зростанням частки міцних скельних порід і руд в загальному об'ємі гірської маси, що призводить до підвищення собівартості продукції і зменшення її конкурентоспроможності. Зважаючи на це, виникає необхідність істотних коректив в підходах до вирішення проблем розвитку гірничої справи відкритим способом.

Слід зазначити, що технології, які використовуються на вітчизняних комбінатах, недосконалі: якість залізорудної сировини за змістом заліза і кремнезему не відповідає сучасним вимогам металургів; витрата електроенергії на 1 т концентрату в 1,4-1,5 рази вище, ніж на аналогічних підприємствах за кордоном.

Оскільки з подрібненням пов'язані основні витрати (85-87%) на електроенергію, важливим напрямом підвищення рентабельності діючих ГЗК, є підвищення ефективності роботи вузла подрібнення і класифікації, що дозволить зменшити витрату електроенергії, тіл, що мелють, і оборотної води.

Випалення руди або концентратів, операція підготовки рудних матеріалів до подальшого переділу (збагаченню, кускуванню, плавлі), здійснювана з метою зміни їх фізичних властивостей і хімічного складу, переведення корисних компонентів у витягнуту форму, видалення домішок полягає в нагріві до певної температури, залежної від обпалюваного матеріалу і цілей збагачення.

З метою скорочення вилучень сільськогосподарських земель під будівництво об'єктів гірничорудних підприємств розроблені нові способи сумісного складування хвостів і порід розкриву, побудовані хвостосховища на відвалах кар'єрів.

Потреби забезпечення конкурентоспроможності в умовах ринкової економіки і глобалізації зумовлюють об'єктивну необхідність проведення на ГЗК системних, комплексних заходів інноваційного характеру в рамках взаємопов'язаних проектів, які пов'язані, зокрема, з плануванням гірничих робіт, буропідривними роботами (БПР), транспортуванням гірської маси, комплексом питань збагачення корисної копалини, а також складними завданнями екологічного характеру, які постійно загострюються в усьому світі.

Слід відзначити, що важливою умовою ефективності виробництва є удосконалення планування гірничих робіт з урахуванням всього комплексу факторів.

Буропідривні роботи суттєво впливають на ефективність основних процесів добування, первинної переробки

корисних копалини і на основні параметри кар'єру. З поліпшенням якості дроблення порід на кар'єрах значно підвищуються продуктивність вантажно-транспортних засобів, а також продуктивність і коефіцієнт використання дробильного устаткування на фабриках. Зокрема, при зменшенні середнього діаметра куска в підірваній гірській масі з 350 до 200 мм годинна продуктивність екскаватора на залізорудних кар'єрах Кривбасу зросла в 1,5 рази, а продуктивність дробильної фабрики – на 30%.

Автоматизована система диспетчеризації гірничотранспортного устаткування з використанням GPS-технології застосовується за кордоном. За допомогою даної системи можна швидко і економічно організувати моніторинг транспорту на підприємстві. Вона дозволяє записувати і аналізувати параметри експлуатації автомобіля, а також відстежувати і відображати розташування мобільних об'єктів на екрані персонального комп'ютера, знати не тільки з якою швидкістю їде автомобіль, який рівень палива в його баку, але і де він знаходиться в даний момент часу і скоректувати його подальший маршрут. Впровадження даної системи дозволяє скоротити витрати на паливо на 20-30%.

Можливими шляхами підвищення ефективності переробки залізорудної сировини є: усереднювання початкової сировини; застосування замкнутого циклу дроблення руди; впровадження операції грохочення в I стадії кульового подрібнення; впровадження тонкого грохочення в завершальних стадіях подрібнення; використання високочастотних грохотів; автоматизація кожної операції технологічної схеми; своєчасна заміна застарілого устаткування на сучасне, високопродуктивне і ефективне; зниження крупності роздробленої руди; розвиток сухої магнітної сепарації; заміна в I стадії кульового подрібнення спіральних класифікаторів грохотами; застосування тонкого грохочення для класифікації магнетитових пульп в операціях подрібнення; раціональне використання сучасного вітчизняного і зарубіжного устаткування; встановлення оптимального швидкісного режиму роботи кульових млинів по стадіях подрібнення; раціональне завантаження млинів кулями діаметром 40 мм і нижче; зменшення кількості матеріалу, що надходить на тонке подрібнення.

Інноваційні технології переробки залізорудної сировини полягають також в стадіальному виділенні готового матеріалу після кожної стадії подрібнення і збагачення. Становить інтерес впровадження каскаду середнього і дрібного дроблення з установленням дробарки MP-800 (виробництво Metso Minerals, Швеція), що дозволяє понизити велику кількість роздробленої руди і збільшує продуктивність збагачувальної фабрики по концентрату на 15%. Тільки удосконалення схеми сепарації дозволяє збільшити вміст заліза в обкотишах з 60,35-60,4% до 63%.

На дробильно-збагачувальному комплексі можливо також впровадити нову технологію переділу сухої магнітної сепарації. Вона дозволить підвищити рівень магнетиту в початковій руді і збільшити вихід концентрату, таким чином, понизивши його собівартість. Суть сухої магнітної сепарації полягає в тому, що до млинової переробки, самої витратної у виробництві концентрату, максимально видалити з рудної сировини пусту породу. У

сухому виді руда буде розділена на багатий продукт, з високим вмістом магнетиту, і бідний. Відокремлений таким чином хвостовий продукт відразу надходить на дробильно-сортувальну фабрику, щоб стати згодом щебенем. А магнітна фракція залізняку поступає в головний корпус, щоб пройти повний цикл збагачення. Завдання установки – методом сухої магнітної сепарації збагачувати руду, яка йде у відвали із-за вмісту в ній заліза нижче 46%. Це дозволить значно скоротити витрати на збагачувальному і здрібнювальному переділах.

Один із шляхів підвищення якості продукції – впровадження доведення флотації концентрату. Дана технологія дозволяє збільшити вміст заліза в готовому концентраті з 64,5 до 69%.

Перспективною програмою розвитку ГЗК є переробка поточних хвостів мокрої магнітної сепарації дробильно-збагачувального комплексу, виробництво гематитового концентрату. Нова технологія, основана на використанні установки флотації, припускає переробку відходів поточного виробництва, завдяки чому кількість складованих в хвостосховище відходів зменшиться, а випуск товарної продукції збільшиться без зростання видобутку руди.

Не дивлячись на тяжкі умови світової фінансової кризи, залізорудна промисловість України, постійно удосконалюючись стосовно умов конкурентного ринкового середовища, здатна і далі бути основою економіки країни, виступаючи “локомотивом” розвитку інших галузей і найважливішим джерелом валютних надходжень від експорту.

Список літератури

1. Техніко-економічні показники гірничодобувних підприємств України в 2004-2005 рр. – Кривий ріг, ГНІГРІ, 2006. – 134 с.
2. Техніко-економічні показники гірничодобувних підприємств України в 2005-2006 рр. – Кривий ріг, НТО ГНІГРІ, 2007. – 164 с.
3. Техніко-економічні показники гірничодобувних підприємств України в 2006-2007 рр. – Кривий ріг, ГНІГРІ, 2008. – 178 с.

Рекомендовано до публікації д.е.н., С.В. Афанасьєвим 15.06.09

УДК 331.101./102

І.В. Васильєв, Є.В. Романовська, О.В. Варяниченко

УПРАВЛІННЯ НОВОВВЕДЕННЯМИ: МОТИВИ, ПРИНЦИПИ ТА СПЕЦИФІКА ПІДПРИЄМНИЦТВА В ІННОВАЦІЙНІЙ СФЕРІ

Розглядаються специфічні аспекти мотивації підприємницької діяльності в інноваційній сфері; наводяться групи підприємців, виходячи з поділу новаторів за типами мотивації; принципи, що їх дотримуються у своїй інноваційній діяльності успішні підприємці Європи. Наводиться визначення інноваційної діяльності з точки зору розглянутих специфічних аспектів.

Рассматриваются специфические аспекты мотивации предпринимательской деятельности в инновационной сфере; приводятся группы предпринимателей, исходя из разделения новаторов по типам мотивации; принципы, которых придерживаются в своей инновационной деятельности успешные предприниматели Европы. Приводится определение инновационной деятельности с точки зрения изложенных специфических аспектов.

This article discusses the specific aspects of the motivation of business activity in the innovation field; provides a group of entrepreneurs based on the division of innovators by type of motivation; principles, which successful entrepreneurs in Europe follow in their innovation activity; a definition of innovation in terms of specific aspects discussed.

У сучасному світі здійснюється процес становлення якісно нового типу економіки, яка базується на знаннях, використанні інтелекту в інтересах особистості, організації, держави, всього суспільства. У такій економіці провідну роль відіграє інтелектуальний капітал, створений за допомогою творчого використання отриманих знань. Форма ведення бізнесу, спрямована на використання інтелектуального капіталу, стимулює творчий потенціал фахівців, розвиває їх здібності, підсилює можливості всіх учасників інноваційної діяльності. Для активізації економіки в сферу інтелектуальної діяльності одним з найважливіших моментів є вивчення спонукальних мотивів ін-

новаційного підприємництва для стимулювання новаторства з метою нарощування інтелектуального потенціалу підприємства.

Дуже часто можна зустріти твердження, що найважливішим мотивом підприємництва є отримання максимального прибутку. Однак на практиці все виглядає трохи інакше. Звичайно, без прибутку не обійтися, але він не є головним, єдиним спонукальним мотивом інноваційної підприємницької діяльності. До основних мотивів слід віднести: зацікавленість творчий підхід; прагнення до самореалізації; орієнтацію на власний розвиток через здійснення прогресивних змін у суспільстві; відповідальність за благополуччя сім'ї, суспі-

льства і природи; прагнення до завоювання міцних конкурентоспроможних позицій на ринку. При цьому всі ці мотиви ґрунтуються на певній ієрархії потреб. Якщо відштовхуватися від ієрархії потреб американського психолога А. Маслоу [1], то успіх інноваційної діяльності тим значніший, чим більше домінує в структурі ієрархії потреб самовираження, після потреби у визнанні. При домінуванні тільки фізіологічних потреб підприємець, як правило, взагалі не займається інноваційною діяльністю, а при домінуванні потреби в безпеці та захищеності він, у кращому випадку, тільки починає усвідомлювати необхідність нововведень, розглядаючи їх як засіб захисту від небезпек, і робить перші спроби нововведення.

При цьому підприємець може бути справжнім новатором навіть тоді, коли більш високий рівень ієрархії потреб впливає на його поведінку і домінує в системі мотивації (потреба у визнанні або самоактуалізації) при неповному задоволенні потреб більш низького рівня (фізіологічних потреб і потреби у безпеці, захищеності). Вищі потреби, як правило, спрямовують поведінку підприємця-новатора в більшій мірі, ніж нижчі потреби, незважаючи на їх неповне задоволення. Але останнє властиво тільки новаторам, а стосовно більшості звичайних підприємців працює закон Маслоу, згідно з яким вищі потреби можуть спрямовувати поведінку бізнесмена лише в тій мірі, в якій задоволені його нижчі потреби.

Якщо підприємці в процесі своєї діяльності прагнуть тільки до отримання прибутку або збереження стійкості започаткованої справи, то вони в кращому випадку йдуть за новаторами-піонерами, імітуючи готове нововведення задля збереження своєї конкурентоспроможності. І це відбувається, якщо нововведення не загрожують стабільності та не знижують прибутковості раніше розпочатої справи.

Розвиваючи ідеї В.А. Ядова [2], можна виділити чотири групи підприємців, виходячи з поділу новаторів за типами мотивації.

Першу утворюють справжні ентузіасти, піонери-новатори, які із учених класичного типу стали підприємцями, для яких сам інноваційний процес становить самоцінність, а прибуток лише засіб його підтримки. При цьому вони можуть здійснювати низькорентабельну або безприбуткову (на рівні окупності чи навіть збитковості) інноваційну діяльність.

Друга, найбільш розповсюджена група – це цілком професійні та компетентні в науці підприємці, які досить реалістичні і прагнуть поєднати наукову творчість з прибутковістю підприємницької діяльності. Для них цінність інновації є інструментом отримання високого прибутку.

Третя група інноваційного підприємництва утворюється з честолюбних, ініціативних і досить прагматичних бізнесменів, які стурбовані досягненням високого положення в офіційній структурі за рахунок успішного нововведення.

Четверту групу утворюють підприємці, які випадково і не по своїй волі єдиний раз стали здійснювати нововведення для захисту безпеки і стабільності свого традиційного бізнесу. Це новатор-імітатор з при-

мусу. Нововведення і конкуренція роблять його бізнес неможливим, і такий новатор може перестати займатися підприємництвом, перетворившись у простого найманого працівника.

Поведінка підприємця в інноваційній сфері діяльності визначається не тільки розглянутими вище потребами, але й сприйняттям ситуації підприємницького клімату та очікуваннями, пов'язаними з можливими наслідками обраного типу нововведення. Це стало основою процесуальних концепцій мотивації, відображених в роботах В. Врума, Л. Портера, Е. Лоулера, Р. Гендерсона та ін. [3]. Саме сучасні процесуальні концепції більшою мірою відповідають специфіці підприємництва в інноваційній сфері та використовують мотиваційні механізми, що стимулюють досягнення цілей і одержання задовольняючої винагороди від успішних нововведень.

Специфічно “підприємницький” характер господарюючому суб’єкту надають особливі умови інноваційної діяльності. Так, авторитет має тут особливе значення, оскільки підприємцю-новатору нерідко доводиться долати певний опір суспільства і витримувати випробування на міцність. При цьому деякі економісти, наприклад Й. Шумпетер [4], вважають, що коли новатор захоплює за собою своїх колег по роботі, то це зовсім не допомагає йому особисто домогтися успіху, а нерідко як раз навпаки — ускладнює це завдання. Тому це небажано для підприємця, більш того, формування авторитету не вимагає від нього ніяких зусиль. З цим не можна погодитися, оскільки в одиночку підприємець не реалізує ніяких нововведень, особливо великих, йому необхідно мати дуже вагомий авторитет для формування своєї команди співробітників, як помічників, так і послідовників для досягнення успіху нововведення, що вимагає великих зусиль від нього особисто. Авторитет підприємця-новатора та команда – це противага стримуючому консерватизму, заклякості й інерційності традиційної господарської діяльності більшості людей.

Тільки у відношенні самих дрібних і часткових нововведень новатор може обходитися без авторитету і необхідної групи підтримки, тому що він може досить приватно і непомітно зробити маленьке нововведення, яке нічого принципово не змінює, щоб бути поміченим і зустріти суттєвий опір. Тоді його успіх повністю індивідуально належатиме тільки йому і не потрібно буде ділити досягнення зі своїми послідовниками.

Особливе значення підприємницької здібності як людського ресурсу розкривають американські економісти К.Р. Макконнелл і С.Л. Брю, вказуючи на “чотири взаємопов’язані функції підприємця:

1) Підприємець бере на себе ініціативу з’єднання ресурсів землі, капіталу та праці в єдиний процес виробництва товару або послуги. Виконуючи роль свічки запалювання і каталізатора, підприємець одночасно є рушійною силою виробництва і посередником, який зводить разом інші ресурси для здійснення процесу, що обіцяє бути прибутковою справою.

2) Підприємець бере на себе важке завдання прийняття основних рішень у процесі ведення бізнесу,

тобто ті нерутинні рішення, які й визначають курс діяльності підприємства.

3) Підприємець — це новатор, особа, яка прагне вводити в побут на комерційній основі нові продукти, нові виробничі технології або навіть нові форми організації бізнесу.

4) Підприємець — це людина, яка йде на ризик. Це впливає з ретельного вивчення інших трьох його функцій. У капіталістичній системі підприємцю прибуток не гарантовано. Винагородою за витрачений час, зусилля і здібності можуть виявитися привабливі прибутки або збитки і, зрештою, – банкрутство. Підприємець ризикує не тільки своїм часом, працею та діловою репутацією, але і вкладеними коштами — своїми власними та своїх компаньйонів або акціонерів” [5]. Саме дві останніх функції і висловлюють особливу суть інноваційного підприємництва.

На думку С. Жизніна [6], найбільш важливими якостями для людини, яка готується стати підприємцем, є: ініціатива, щирість, чесність, доброзичливі ставлення до інших людей, здатність керувати людьми, почуття відповідальності, гарні організаторські здібності, рішучість, цілеспрямованість, завзятість і наполегливість, творча основа, готовність йти на виправданій ризик, працездатність, фінансовий склад розуму. При цьому всі ці якості повинні бути властиві і підприємцеві-новатору, за винятком фінансового складу розуму, що компенсується партнерством з венчурним інвестором. Саме венчурний інвестор своїм фінансовим складом розуму доповнює новатора в процесі фінансування реалізації нововведення.

У ході здійснення інноваційної діяльності підприємець виконує різноманітні функції, основними з яких є: визначення цілей, завдань, проблем, що стоять перед фірмою; раціональне розміщення капіталу і коштів фірми; ефективне використання матеріальних, трудових, фінансових ресурсів, створення умов, в яких персонал фірми досягав би намічених результатів; контроль за використанням вкладених коштів; подолання інертності у зовнішньому середовищі підприємства; творче рішення нестандартних ситуацій; організація реклами; формування іміджу фірми; контроль над здійсненням угод та ін.

Всі перелічені та інші різноманітні підприємницькі функції можна узагальнити і звести до п'яти основних груп: вивчення попиту та прогнозування діяльності; фінансування; організація справи; стимулювання персоналу; упереджувальний контроль і коригування дій персоналу.

Якщо аналізувати діяльність успішно функціонуючих у європейських країнах підприємців, то можна прийти до висновку, що всі вони дотримуються у своїй інноваційній діяльності наступних принципів: підприємливість і готовність йти на строго розрахований ризик; “чуття” на потреби ринку; залізна дисципліна (що стосується їх самих – вони працюють більше, ніж їхні співробітники); детальне знання своєї справи (вони чудові технічні фахівці, а також фахівці у галузі маркетингу та фінансування); вміння залучати хороших працівників і надавати їм досить широкі повноваження; гарна мотивація всіх

співробітників і тому гарна зарплата (звичайно на таких підприємствах заробітна плата працівників вище, ніж на інших підприємствах, а зарплата високопоставлених співробітників завжди залежить від успіху роботи підприємства; якщо працівники не в змозі впоратися зі своєю роботою, вони негайно звільнюються); суворий контроль за співвідношенням між витратами та прибутком, готовність закрити виробництво, якщо воно виявляється нерентабельним; прагнення завжди бути краще своїх конкурентів [7].

Таким чином, перераховані принципи розкривають загальну систему підприємницької поведінки й основні риси інноваційного підприємництва.

На підставі сказаного вище можна визначити інноваційне підприємництво як творчу діяльність ділових людей, спрямовану на пошук нових сфер вкладення капіталу, створення нових і вдосконалення наявних продуктів, виробництв, організацій, розвиток власних переваг, ефективне використання різноманітних можливостей для отримання прибутку. Слід зазначити, що кожен підприємець-новатор виступає як ділова людина, але не всяка ділова людина може бути віднесена до категорії інноваційного підприємця, бо інноваційне підприємництво характеризується обов'язковим залученням у свою діяльність інноваційних моментів – будь то виробництво нового для ринку товару або технології, зміна профілю діяльності або створення нового підприємства, нова організація управління виробництвом, якістю, впровадження нових методів організації виробництва або нових технологій.

У сучасній економіці серед традиційних індустріальних факторів важливе місце починають займати нематеріальні чинники: знання, інформація, інноваційний тип мислення і поведінка творчої людини, яка створює новаторський об'єкт. У цьому зв'язку реалізація нових підходів до використання результатів творчої діяльності людини та вдосконалення системи управління нововведеннями дозволяють здійснити розпочатий в Україні процес побудови концепції принципів управління економікою на інноваційній основі.

Список літератури

1. Maslow A.H. Motivation and personality – N. Y. – 1954. – P. 43.
2. Социальные проблемы и факторы интенсификации научной деятельности / Под ред. В.А. Ядова и Д.Д. Райковой. – М., 1992. – С. 4-5.
3. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: Пер. с англ. – М., 1994.
4. Шумпетер Й. Теория экономического развития. – М., 1982. – С. 186.
5. Макконнелл К.Р., Брю С.Л. Экономика: Принципы, проблемы и политика. В 2-х т.: Пер. с англ. 11-го изд. – М., 1993. – Т. 1. – С. 37-38.
6. Жизнин С.З., Крупнов В.И. Как стать бизнесменом. – Минск, 1990. – С. 7.
7. Хойер В. Как делать бизнес в Европе. – М., 1991. – С. 71.

Рекомендовано до публікації д.е.н. І.І. Павленко 20.04.09

УПРАВЛІННЯ НОВОВВЕДЕННЯМИ: МОТИВИ, ПРИНЦИПИ ТА СПЕЦИФІКА ПІДПРИЄМНИЦТВА В ІННОВАЦІЙНІЙ СФЕРІ

Розглядаються специфічні аспекти мотивації підприємницької діяльності в інноваційній сфері; наводяться групи підприємців, виходячи з поділу новаторів за типами мотивації; принципи, що їх дотримуються у своїй інноваційній діяльності успішні підприємці Європи. Наводиться визначення інноваційної діяльності з точки зору розглянутих специфічних аспектів.

Рассматриваются специфические аспекты мотивации предпринимательской деятельности в инновационной сфере; приводятся группы предпринимателей, исходя из разделения новаторов по типам мотивации; принципы, которых придерживаются в своей инновационной деятельности успешные предприниматели Европы. Приводится определение инновационной деятельности с точки зрения изложенных специфических аспектов.

This article discusses the specific aspects of the motivation of business activity in the innovation field; provides a group of entrepreneurs based on the division of innovators by type of motivation; principles, which successful entrepreneurs in Europe follow in their innovation activity; a definition of innovation in terms of specific aspects discussed.

У сучасному світі здійснюється процес становлення якісно нового типу економіки, яка базується на знаннях, використанні інтелекту в інтересах особистості, організації, держави, всього суспільства. У такій економіці провідну роль відіграє інтелектуальний капітал, створений за допомогою творчого використання отриманих знань. Форма ведення бізнесу, спрямована на використання інтелектуального капіталу, стимулює творчий потенціал фахівців, розвиває їх здібності, підсилює можливості всіх учасників інноваційної діяльності. Для активізації економіки в сферу інтелектуальної діяльності одним з найважливіших моментів є вивчення спонукальних мотивів інноваційного підприємництва для стимулювання новаторства з метою нарощування інтелектуального потенціалу підприємства.

Дуже часто можна зустріти твердження, що найважливішим мотивом підприємництва є отримання максимального прибутку. Однак на практиці все виглядає трохи інакше. Звичайно, без прибутку не обійтися, але він не є головним, єдиним спонукальним мотивом інноваційної підприємницької діяльності. До основних мотивів слід віднести: зацікавлений творчий підхід; прагнення до самореалізації; орієнтацію на власний розвиток через здійснення прогресивних змін у суспільстві; відповідальність за благополуччя сім'ї, суспільства і природи; прагнення до завоювання міцних конкурентоспроможних позицій на ринку. При цьому всі ці мотиви ґрунтуються на певній ієрархії потреб. Якщо відштовхуватися від ієрархії потреб американського психолога А. Маслоу [1], то успіх інноваційної діяльності тим значніший, чим більше домінує в структурі ієрархії потреб самовираження, після потреби у визнанні. При домінуванні тільки фізіологічних потреб підприємець, як правило, взагалі не займається інноваційною діяльністю, а при домінуванні потреби в безпеці та захищеності він, у кращому випадку, тільки починає усвідомлювати необхідність нововведень, розглядаючи їх як засіб за-

хисту від небезпек, і робить перші спроби нововведення.

При цьому підприємець може бути справжнім новатором навіть тоді, коли більш високий рівень ієрархії потреб впливає на його поведінку і домінує в системі мотивацій (потреба у визнанні або самоактуалізації) при неповному задоволенні потреб більш низького рівня (фізіологічних потреб і потреби у безпеці, захищеності). Вищі потреби, як правило, спрямовують поведінку підприємця-новатора в більшій мірі, ніж нижчі потреби, незважаючи на їх неповне задоволення. Але останнє властиво тільки новаторам, а стосовно більшості звичайних підприємців працює закон Маслоу, згідно з яким вищі потреби можуть спрямовувати поведінку бізнесмена лише в тій мірі, в якій задоволені його нижчі потреби.

Якщо підприємці в процесі своєї діяльності прагнуть тільки до отримання прибутку або збереження стійкості започаткованої справи, то вони в кращому випадку йдуть за новаторами-піонерами, імітуючи готове нововведення задля збереження своєї конкурентоспроможності. І це відбувається, якщо нововведення не загрожують стабільності та не знижують прибутковість раніше розпочатої справи.

Розвиваючи ідеї В.А. Ядова [2], можна виділити чотири групи підприємців, виходячи з поділу новаторів за типами мотивації.

Першу утворюють справжні ентузіасти, піонери-новатори, які із учених класичного типу стали підприємцями, для яких сам інноваційний процес становить самоцінність, а прибуток лише засіб його підтримки. При цьому вони можуть здійснювати низькорентабельну або безприбуткову (на рівні окупності чи навіть збитковості) інноваційну діяльність.

Друга, найбільш розповсюджена група — це цілком професійні та компетентні в науці підприємці, які досить реалістичні і прагнуть поєднати наукову творчість з прибутковістю підприємницької діяльно-

сті. Для них цінність інновації є інструментом отримання високого прибутку.

Третя група інноваційного підприємництва утворюється з честолюбних, ініціативних і досить прагматичних бізнесменів, які стурбовані досягненням високого положення в офіційній структурі за рахунок успішного нововведення.

Четверту групу утворюють підприємці, які випадково і не по своїй волі єдиний раз стали здійснювати нововведення для захисту безпеки і стабільності свого традиційного бізнесу. Це новатор-імітатор з примусу. Нововведення і конкуренція роблять його бізнес неможливим, і такий новатор може перестати займатися підприємництвом, перетворившись у простого найманого працівника.

Поведінка підприємця в інноваційній сфері діяльності визначається не тільки розглянутими вище потребами, але й сприйняттям ситуації підприємницького клімату та очікуваннями, пов'язаними з можливими наслідками обраного типу нововведення. Це стало основою процесуальних концепцій мотивації, відображених в роботах В. Врума, Л. Портера, Е. Лоулера, Р. Гендерсона та ін. [3]. Саме сучасні процесуальні концепції більшою мірою відповідають специфіці підприємництва в інноваційній сфері та використовують мотиваційні механізми, що стимулюють досягнення цілей і одержання задовольняючої винагороди від успішних нововведень.

Специфічно “підприємницький” характер господарюючому суб’єкту надають особливі умови інноваційної діяльності. Так, авторитет має тут особливе значення, оскільки підприємцю-новатору нерідко доводиться долати певний опір суспільства і витримувати випробування на міцність. При цьому деякі економісти, наприклад Й. Шумпетер [4], вважають, що коли новатор захоплює за собою своїх колег по роботі, то це зовсім не допомагає йому особисто домогтися успіху, а нерідко як раз навпаки — ускладнює це завдання. Тому це небажано для підприємця, більш того, формування авторитету не вимагає від нього ніяких зусиль. З цим не можна погодитися, оскільки в одиночку підприємець не реалізує ніяких нововведень, особливо великих, йому необхідно мати дуже вагомий авторитет для формування своєї команди співробітників, як помічників, так і послідовників для досягнення успіху нововведення, що вимагає великих зусиль від нього особисто. Авторитет підприємця-новатора та команда — це противага стримуючому консерватизму, заклякості й інерційності традиційної господарської діяльності більшості людей.

Тільки у відношенні самих дрібних і часткових нововведень новатор може обходитися без авторитету і необхідної групи підтримки, тому що він може досить приватно і непомітно зробити маленьке нововведення, яке нічого принципово не змінює, щоб бути поміченим і зустріти суттєвий опір. Тоді його успіх повністю індивідуально належатиме тільки йому і не потрібно буде ділити досягнення зі своїми послідовниками.

Особливе значення підприємницької здібності як людського ресурсу розкривають американські економісти К.Р. Макконнелл і С.Л. Брю, вказуючи на “чотири взаємопов’язані функції підприємця:

1) Підприємець бере на себе ініціативу з’єднання ресурсів землі, капіталу та праці в єдиний процес виробництва товару або послуги. Виконуючи роль свічки запалювання і каталізатора, підприємець одночасно є рушійною силою виробництва і посередником, який зводить разом інші ресурси для здійснення процесу, що обіцяє бути прибутковою справою.

2) Підприємець бере на себе важке завдання прийняття основних рішень у процесі ведення бізнесу, тобто ті нерутинні рішення, які й визначають курс діяльності підприємства.

3) Підприємець — це новатор, особа, яка прагне вводити в побут на комерційній основі нові продукти, нові виробничі технології або навіть нові форми організації бізнесу.

4) Підприємець — це людина, яка йде на ризик. Це впливає з ретельного вивчення інших трьох його функцій. У капіталістичній системі підприємцю прибуток не гарантовано. Винагородою за витрачений час, зусилля і здібності можуть виявитися привабливі прибутки або збитки і, зрештою, — банкрутство. Підприємець ризикує не тільки своїм часом, працею та діловою репутацією, але і вкладеними коштами — своїми власними та своїх компаньйонів або акціонерів” [5]. Саме дві останніх функцій і висловлюють особливу суть інноваційного підприємництва.

На думку С. Жизніна [6], найбільш важливими якостями для людини, яка готується стати підприємцем, є: ініціатива, щирість, чесність, доброзичливі ставлення до інших людей, здатність керувати людьми, почуття відповідальності, гарні організаторські здібності, рішучість, цілеспрямованість, завзятість і наполегливість, творча основа, готовність йти на виправданний ризик, працездатність, фінансовий склад розуму. При цьому всі ці якості повинні бути властиві і підприємцеві-новатору, за винятком фінансового складу розуму, що компенсується партнерством з венчурним інвестором. Саме венчурний інвестор своїм фінансовим складом розуму доповнює новатора в процесі фінансування реалізації нововведення.

У ході здійснення інноваційної діяльності підприємець виконує різноманітні функції, основними з яких є: визначення цілей, завдань, проблем, що стоять перед фірмою; раціональне розміщення капіталу і коштів фірми; ефективне використання матеріальних, трудових, фінансових ресурсів, створення умов, в яких персонал фірми досягав би намічених результатів; контроль за використанням вкладених коштів; подолання інертності у зовнішньому середовищі підприємства; творче рішення нестандартних ситуацій; організація реклами; формування іміджу фірми; контроль над здійсненням угод та ін.

Всі перелічені та інші різноманітні підприємницькі функції можна узагальнити і звести до п’яти основних груп: вивчення попиту та прогнозування діяльності; фінансування; організація справи; стимулю-

вання персоналу; упереджувальний контроль і коригування дій персоналу.

Якщо аналізувати діяльність успішно функціонуючих у європейських країнах підприємств, то можна прийти до висновку, що всі вони дотримуються у своїй інноваційній діяльності наступних принципів:

– підприємливість і готовність йти на строго розрахований ризик;

– “чуття” на потреби ринку;

– залізна дисципліна (що стосується їх самих – вони працюють більше, ніж їхні співробітники);

– детальне знання своєї справи (вони чудові технічні фахівці, а також фахівці у галузі маркетингу та фінансування);

– вміння залучати хороших працівників і надавати їм досить широкі повноваження;

– гарна мотивація всіх співробітників і тому гарна зарплата (звичайно на таких підприємствах заробітна плата працівників вище, ніж на інших підприємствах, а зарплата високопоставлених співробітників завжди залежить від успіху роботи підприємства; якщо працівники не в змозі впоратися зі своєю роботою, вони негайно звільнюються);

– суворий контроль за співвідношенням між витратами та прибутком, готовність закрити виробництво, якщо воно виявляється нерентабельним;

– прагнення завжди бути краще своїх конкурентів [7].

Таким чином, перераховані принципи розкривають загальну систему підприємницької поведінки й основні риси інноваційного підприємництва.

На підставі вищесказаного можна визначити інноваційне підприємництво, як творчу діяльність ділових людей, спрямовану на пошук нових сфер вкладення капіталу, створення нових і вдосконалення наявних продуктів, виробництв, організацій, розвиток власних переваг, ефективне використання різноманітних можливостей для отримання прибутку. Слід зазначити, що кожен підприємець-новатор виступає як ділова людина, але не всяка ділова людина може бу-

ти віднесена до категорії інноваційного підприємця, бо інноваційне підприємництво характеризується обов'язковим залученням у свою діяльність інноваційних моментів – будь то виробництво нового для ринку товару або технології, зміна профілю діяльності або створення нового підприємства, нова організація управління виробництвом, якістю, впровадження нових методів організації виробництва або нових технологій.

У сучасній економіці серед традиційних індустріальних факторів важливе місце починають займати нематеріальні чинники: знання, інформація, інноваційний тип мислення і поведінка творчої людини, яка створює новаторський об'єкт. У цьому зв'язку реалізація нових підходів до використання результатів творчої діяльності людини та вдосконалення системи управління нововведеннями дозволяють здійснити розпочатий в Україні процес побудови концепції принципів управління економікою на інноваційній основі.

Список літератури

1. Maslow A.H. Motivation and personality – N. Y. – 1954. – P. 43.
2. Социальные проблемы и факторы интенсификации научной деятельности / Под ред. В.А. Ядова и Д.Д. Райковой. – М., 1992. – С. 4-5.
3. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: Пер. с англ. – М., 1994.
4. Шумпетер Й. Теория экономического развития. – М., 1982. – С. 186.
5. Макконнелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс: Принципы, проблемы и политика. В 2-х т.: Пер. с англ. 11-го изд. – М., 1993. – Т. 1. – С. 37-38.
6. Жизнин С.З., Крупнов В.И. Как стать бизнесменом. – Минск, 1990. – С. 7.
7. Хойер В. Как делать бизнес в Европе. – М., 1991. – С. 71.

Рекомендовано до публікації д.е.н. І.І. Павленко 20.04.09

- Андрєєв Борис Миколайович завідувач кафедри будівельної геотехнології КТУ, доцент, д.т.н.
 Богданов Володимир Костянтинович лікар
 Варяниченко Олена Володимирівна доцент кафедри менеджменту ЗЕД НГУ, к.е.н.
 Васильєв Іван Володимирович студент НГУ
 Гапєєв Сергій Миколайович докторант кафедри будівництва і геомеханіки НГУ, доцент, к.т.н.
 Гребьонкіна Олександра Сергіївна співробітник ДонНТУ, к.т.н.
 Демченко Юрій Іванович доцент кафедри ПРР НГУ, к.т.н.
 Діденко Валерій Петрович провідний науковий співробітник МакНДІ з безпеки робіт у гірничій промисловості, к.т.н.
 Должиков Юрій Петрович студент АФГТ СНУ ім. В. Даля
 Зеленський Олександр Семенович завідувач кафедри інформатики та інформаційних технологій Криворізького економічного інституту ДВНЗ “Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана”
 Іщенко Олексій Костянтинович аспірант кафедри будівництва і геомеханіки НГУ
 Кобзарь Юрій Іванович старший викладач кафедри гірничої справи АФГТ СНУ ім. В. Даля
 Колб Андрій Антонович доцент кафедри електричних машин НГУ, к.т.н.
 Коровіна Олена Володимирівна старший викладач КНЕУ
 Кратковський Ігор Леонідович старший науковий співробітник відділу механіки вибуху гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, к.т.н.
 Кровяк Анджей інженер Головного інституту гірничої справи (Катовіце, Польща), д.е.н.
 Куліковська Ольга Євгенівна докторант кафедри маркшейдерії КТУ, доцент, к.т.н.
 Куча Петро Михайлович гірничий інженер Державного підприємства “СхідГЗК”
 Мандрікевич Ольга Василівна студентка НГУ
 Мартовицький Артур Володимирович директор ВАТ «Шахта “Комсомолец Донбасу”», к.т.н.
 Масленников Євгеній Володимирович старший науковий співробітник кафедри будівництва і геомеханіки НГУ, к.т.н.
 Мельничук Володимир Ігорович асистент кафедри інформатики та інформаційних технологій Криворізького економічного інституту ДВНЗ “Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана”
 Мещанінов Сергій Карминович провідний науковий співробітник кафедри будівництва і геомеханіки НГУ, к.т.н.
 Наумович Олександр Володимирович гірничий інженер
 Павлиш Володимир Миколайович завідувач кафедри ДонНТУ, професор, д.т.н.
 Петрівський Ярослав Борисович доцент кафедри вищої математики РДГУ, к.ф.-м.н.
 Пігулевський Петро Гнатович доцент кафедри геофізичних методів розвідки НГУ, к.г.н.
 Пілюгін Віталій Іванович заступник директора з перспективного розвитку ВАТ «Шахта “Комсомолец Донбасу”», д.т.н.
 Пронський Дмитро Володимирович доцент кафедри гірничої справи АФГТ СНУ ім. В. Даля, к.т.н.
 Пуханов Сергій Сергійович старший викладач кафедри інформатики та інформаційних технологій Криворізького економічного інституту ДВНЗ “Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана”
 Раскідкін Володимир Вікторович головний інженер ВАТ «Шахта “Комсомолец Донбасу”»
 Романов Сергій Ігорович студент НГУ
 Романова Тетяна Олександрівна студентка НГУ
 Романовська Євгенія Валеріївна студентка НГУ
 Садовенко Іван Олександрович завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології НГУ, професор, д.т.н.
 Сарвас Євген Валерійович аспірант кафедри маркшейдерії НГУ
 Терещук Роман Миколайович доцент кафедри будівництва і геомеханіки НГУ, к.т.н.
 Ус Світлана Альбертівна доцент кафедри системного аналізу та управління НГУ, к.ф.-м.н.
 Усик Ігор Іванович декан факультету будівельних геотехнологій НГУ, к.т.н.
 Харін Сергій Анатолійович доцент кафедри менеджменту Криворізького економічного інституту КНЕУ, к.т.н.
 Шашенко Олександр Миколайович проректор з міжнародних зв'язків, завідувач кафедри будівництва і геомеханіки НГУ, професор, д.т.н.
 Якубовська Зінаїда Миколаївна асистентка кафедри фізики УДХТУ, к.т.н.
 Яценко Вероніка Павлівна студентка НГУ

З М І С Т

Богданов В.К. Самостоятельная работа студентов в контексте кредитно-модульной технологии обучения	3
Харин С.А. Анализ производительности бурового оборудования в шахтных стволах	5
Наумович А.В., Терещук Р.Н., Гапеев С.Н. Натурные исследования закономерностей проявлений горного давления в подготовительных выработках шахты “Шахтерская-Глубокая”	8
Сарвас Є.В. Визначення розмірів порушеної зони гірського масиву від впливу підготовчих гірничих робіт	10
Пронский Д.В., Кобзарь Ю.И., Должиков Ю.П. О перекреплении горизонтальных горных выработок с учетом развития ЗНД в обводненных условиях	12
Андреев Б.Н., Куча П.М. Подготовка опытно-промышленного блока 5-86 Ингульской шахты ГП «ВостГОК» к отработке подземным блочным выщелачиванием	15
Ищенко А.К. Выбор и оптимизация состава ячеистой твердеющей смеси для забойки шпуровых и скважинных зарядов	19
Пилюгин В.И., Мартовицкий А.В., Раскидкин В.В. Новые принципы проектирования технологий ведения горных работ на угольных шахтах	23
Шашенко А.Н., Мещанинов С.К., Масленников Е.В. Распространение акустических волн в структурно неоднородном углепородном массиве в окрестности искусственно созданной полости	29
Садовенко І.О., Петрівський Я.Б., Демченко Ю.І., Якубовська З.М. Моделювання поширення тріщини гідророзриву з урахуванням утворення області ослаблених зв'язків	34
Павлиш В.М., Гребьонкіна О.С., Демченко Ю.І. Чисельно-аналітичний метод розрахунку параметрів гідравлічної дії на вугільний пласт	38
Куліковська О.Є. Алгоритмічні основи розробки інформаційно-аналітичного сайту маркшейдерсько-геодезичного моніторингу	42
Пигулевский П.И. Некоторые результаты изучения глубинного строения юго-западной части Украинского щита по данным сейсморазведки ОГТ	48
Кратковский И.Л. Влияние режима кристаллизации гранитов на мобильность системы трансляционного скольжения в кварце	54
Колб А.А. Багатофункціональна система корекції якості електроенергії в системах групового живлення електроприводів	64
Зеленский А.С., Пуханов С.С., Мельничук В.И. Использование NURBS-поверхностей для автоматизированного построения изолиний изменчивости качественных показателей руды на карьерах	69
Ус С.А., Яценко В.П. Определение оптимального размещения источников света в производственном помещении	73
Романов С.И., Романова Т.А. Анализ электрически малых штыревых антенн при включении реактивной нагрузки	76
Диденко В.П. Моделирование разрядов для оценки искробезопасности электрических цепей	79
Кровяк А. Баланс загрязнений при сжигании смеси каменного угля и отходов древесины в профессиональной энергетике	83
Усик И.И., Мандрикевич О.В. Взаимосвязь параметров воронки дробления взрывом заряда ВВ с условиями взрывания	89
Коровіна О.В. Аналіз собівартості продукції залізорудних підприємств Кривбасу	92
Васильєв І.В., Романовська Є.В., Варяниченко О.В. Управління нововведеннями: мотиви, принципи та специфіка підприємництва в інноваційній сфері	96
Відомості про авторів	99