

В.П.ЗУБОВ, д-р техн. наук, профессор, *spggi_zubov@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.P.ZUBOV, Dr. in eng. sc., professor, *spggi_zubov@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

НАУЧНАЯ ШКОЛА «РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»: ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Охарактеризован потенциал научной школы. Показана ее роль в решении проблем горной науки при разработке угольных, рудных и нерудных месторождений. Сформулированы перспективные направления исследований научной школы.

Ключевые слова: технологии, угольные шахты, рудники, безопасность, управление состоянием горного массива, горное давление, лава, демонтаж, обрушения кровли.

SCHOOL OF SCIENCEC «DEVELOPMENT OF DEPOSITS OF SOLID MINERALS»: STAGES OF FORMATION, THE BASIS RESULTS OF RESEARCHES DEVOTED TO UNDERGROUND HARD ROCK MINING, PROSPECTS AND PERSPECTIVES

The data characterized potentials of scientific school have been presented in the paper. The role of school in solving the problem of coal, ore and non-metallic deposits have been described. The perspective direction of scientific school development has been carried out.

Key words: technologies, collieries, mines, safety, rock strata control, rock pressure, long-wall, dismantle, roof collapses

Основателем научной школы «Разработка месторождений твердых полезных ископаемых» является профессор Б.И.Бокий, выпускник Горного института 1895 г., с 1906 по 1927 г. заведующий кафедрой горного искусства. Б.И.Бокием обоснованы основные принципы выбора технологий разработки свит угольных пластов, исследовано влияние систем разработки на процессы обрушения пород кровли в выработках, подготовлены учебники «Практический курс горного искусства» (1913) и «Аналитический курс горного искусства» (1923).

Научные направления школы в последующие периоды ее развития возглавляли крупные ученые профессора и доктора наук

Б.И.Бокий, Н.И.Трушков, А.М.Терпигорев, Е.Н.Барбот-де-Марни, П.И.Городецкий, В.Н.Семевский, В.Д.Слесарев, Е.Я.Махно, Н.М.Проскуряков, А.А.Борисов, Н.З.Галаев, А.И.Арсентьев, Ю.Д.Дядькин. На современном этапе основные научные направления школы развивают профессора В.П.Зубов, Г.А.Холодняков, О.В.Ковалев, О.И.Казанин, Э.И.Богуславский, С.И.Фомин, В.А.Падуков.

По основным направлениям исследования научной школы работает объединенный постоянной совместной научной и учебной деятельностью коллектив численностью более 35 человек, имеющих ученые степени и звания. В научных исследованиях ежегодно принимают участие 15-18 аспирантов и до

40 студентов. Девять представителей научной школы являются членами различных общественных профессиональных академий (АГН, МАНЭБ, РАЕН), имеют государственные награды по результатам внедрения научных разработок.

Научная школа «Разработка месторождений твердых полезных ископаемых» развивает исследования по следующим направлениям:

- установление закономерностей процессов деформирования и разрушения горного массива;
- создание эффективных способов управления горным давлением и состоянием горного массива;
- создание конкурентоспособных ресурсосберегающих и безопасных технологий разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

Рассмотрим основные научные и практические результаты исследований научной школы при подземной разработке месторождений твердых полезных ископаемых за последние 5-7 лет.

В области разработки угольных месторождений.

1. Установлена зависимость способности шахт адаптироваться к динамике спроса на рынках угольной продукции от реализуемых на шахтах технологических схем. Краткосрочное и долгосрочное лидерство в острой конкурентной борьбе за рынки сбыта угольной продукции, как правило, обеспечивается способностью шахт быстро адаптироваться к динамике спроса на угольную продукцию и высокой эффективностью использования производственных и ликвидных природных ресурсов.

Периоды увеличения спроса на угольную продукцию сменяются трудно предсказуемыми периодами резкого уменьшения спроса. Указанные ситуации могут быть обусловлены не только российским рынком, но и общим мировым снижением объема спроса в целом. Так, мировые кризисы 2008 и 2012 г. первыми ощутили ориентированные на экспорт шахты, добывающие коксующиеся угли. В последнем квартале 2008 г. ежемесячная отгрузка коксующегося

угля снизилась более чем в 4 раза, с 3,5 до 0,8 млн т. Тяжелое положение угледобывающих компаний в I и II кварталах 2012 г. обусловлено не только снижением спроса на российском рынке, но и снижением цены угля в Европе и в странах СНГ на 10-15 %.

В периоды трудно предсказуемого снижения спроса на угольную продукцию шахты резко теряют инвестиционную привлекательность. Угольные компании вынуждены сокращать своих сотрудников либо отправлять их в неоплачиваемые отпуска. Наблюдается отток квалифицированных кадров из угольной отрасли. Выполненные исследования показали, что экономические ущербы в рассматриваемые периоды существенно зависят от состояния технологических схем шахт. При этом с увеличением уровня концентрации горных работ и интенсивности отработки пластов экономические ущербы прогрессивно растут. Для минимизации экономических ущербов следует применять комбинированные технологии, основанные на использовании систем разработки длинными столбами с лавами, оборудованными высокопроизводительными очистными механизированными комплексами, и более мобильных систем разработки короткими очистными забоями.

Комбинированная технология позволяет шахте более адекватно и оперативно реагировать на изменения спроса на угольную продукцию. В периоды повышенного спроса производственные мощности и кадровый состав следует ориентировать, главным образом, на добычу угля с использованием систем разработки длинными столбами, в периоды снижения спроса – на отработку целиков и участков с ограниченными размерами системами разработки короткими очистными забоями. Использование комбинированных технологий позволяет минимизировать экономические ущербы в периоды снижения спроса и получить более высокую прибыль в периоды увеличения спроса на уголь; повысить жизнеспособность горно-добывающего предприятия и снизить потери высоколиквидных природных ресурсов.

2. Установлена зависимость частоты возникновения аварийных ситуаций на угольных шахтах от интенсивности и концентрации горных работ. В Российской Федерации наиболее инвестиционно привлекательными являются шахты Кузнецкого бассейна, отрабатывающие мощные пологие угольные пласты. В последние 10-15 лет при отработке таких пластов произошло резкое увеличение уровня пространственной концентрации горных работ и интенсивности очистной выемки. Среднесуточные нагрузки на лаву возросли до величин, достигнутых на лучших зарубежных шахтах (20-30 тыс. т в сутки и более). Вместе с тем указанный период характеризуется увеличением числа крупных (катастрофических) аварий с человеческими жертвами. Наиболее вероятный сценарий развития крупных аварий: самовозгорание угля в выработанном пространстве – взрыв метана в выработанном пространстве – взрыв пыли – подземный пожар, при котором начинается горение угля в глубинных областях краевых частей целиков и угольного массива.

Для снижения вероятности указанных выше катастрофических аварий при использовании высокопроизводительных очистных комплексов можно рекомендовать:

- использовать на газовых шахтах, отрабатывающих пласты в условиях, исключаящих аэродинамическую связь подземных выработок с поверхностью, технологические схемы с разделением шахтного поля на самостоятельно проветриваемые блоки в сочетании с всасывающим способом проветривания блока;
- отказаться от технологических схем с оставлением целиков угля в выработанном пространстве в сочетании с комбинированными схемами проветривания выемочных участков, при которых часть воздуха из лавы поступает через выработанное пространство к вентиляционным выработкам и скважинам для отвода метановоздушной смеси на поверхность.

К особенностям подземной угледобычи относятся трудность оперативного изменения технологической схемы выемочного участка. Вместе с тем горно-геологические и геомеханические условия ведения очист-

ных работ в период отработки столба, длина которого достигает 3-3,5 км и более, как правило, существенно изменяются. Эти обстоятельства делают практически неосуществимой идею полного обеспечения безопасности горных работ по фактору «Катастрофические аварии» путем принятия рациональных проектных решений, связанных с подготовкой и отработкой выемочных столбов.

Обеспечение безопасности горных работ на перспективных угольных шахтах, характеризующихся высоким уровнем пространственной концентрации горных работ и высокой интенсивностью отработки пластов, возможно только при постоянном информационном обеспечении структур управления горным производством и контролирующих государственных органов объективной информацией о развитии опасных геомеханических, газодинамических и других процессов, знание которых необходимо для принятия превентивных мер по предупреждению аварий.

3. Разработаны варианты бесцеликовой технологии отработки угольных пластов, позволяющие достигать высоких нагрузок на лаву по газовому фактору. В 1995-2010 гг. на угольных шахтах Кузнецкого бассейна при отработке наиболее ликвидных мощных пологих угольных пластов широкое распространение получили технологические схемы с подготовкой выемочных столбов сдвоенными участковыми выработками с последующим погашением одной из этих выработок за лавой и оставлением целика угля в выработанном пространстве. Ширина целиков составляет 25-30 м и более.

Данные технологические схемы характеризуются существенными недостатками:

- увеличением эксплуатационных потерь угля ценных марок на 10-15 % и более;
- формированием под (и над) целиками, оставленными в выработанном пространстве, опасных областей с повышенной концентрацией напряжений;
- повышенной вероятностью возникновения подземных пожаров, внезапных выбросов и горных ударов.

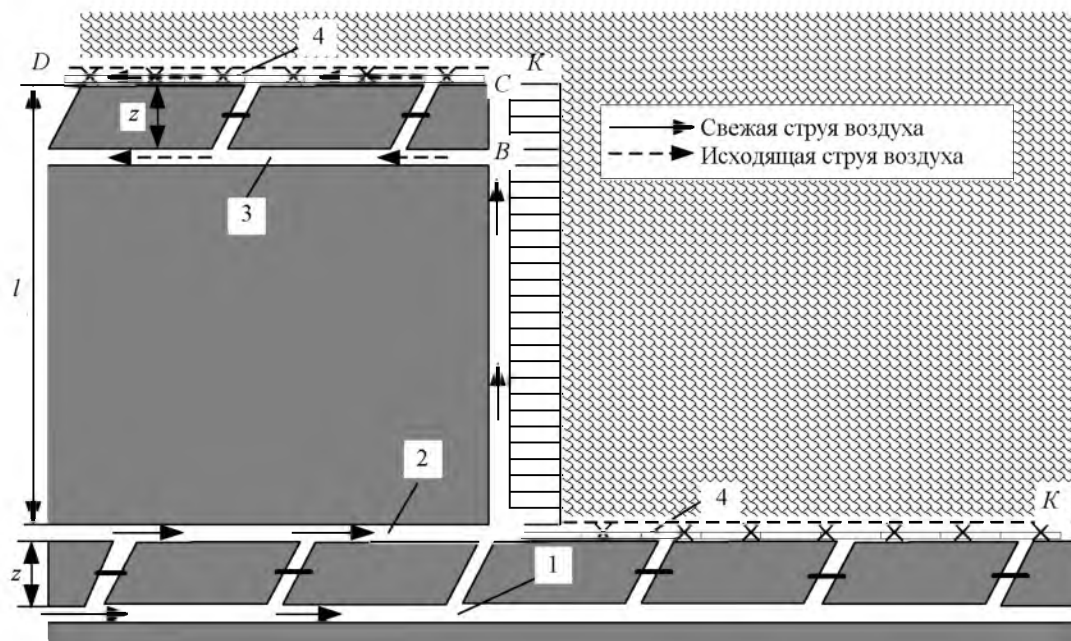


Рис. 1. Вариант технологии разработки мощного пологого пласта без оставления целиков в выработанном пространстве
1 и 2 – сдвоенные участковые подготовительные выработки; 3 – повторно используемая участковая подготовительная выработка; 4 – воздухопровод для отработанной струи

Кроме того, использование технологических схем, предусматривающих оставление целиков угля в выработанном пространстве, делает практически невозможным применение опережающей отработки «защитных» пластов в качестве регионального способа управления состоянием массива и горным давлением.

Указанные недостатки отсутствуют у варианта технологической схемы, представленного на рис.1. При его реализации подготовку столба производят сдвоенными подготовительными выработками 1 и 2 с оставлением между ними целика Z , ширину которого определяют из условия обеспечения технологически удовлетворительного состояния повторно используемой выработки 3, закрепленной анкерной крепью. В период ведения очистных работ целик, расположенный со стороны выработанного пространства, рассматривается как часть выемочного столба, подлежащая полной отработке. В качестве воздухопроводов 4 могут быть использованы вентиляционные ходки или трубы диаметром 0,6-1,4 м. В качестве средств регулирования объемов воздуха, подаваемого на участок лавы BC , рекомендуется использовать газоотсасывающие вен-

тиляторы типов ВЦГ-7М, УВЦГ-9, УВЦГ-15 и вентиляционные двери с окнами изменяемого сечения [1].

Величина максимально допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору при использовании данного варианта существенно зависит от схемы проветривания выемочного участка. При подаче свежей струи на участок по выработке 3 максимальные нагрузки на очистной забой на 10-15 % и более превышают соответствующие показатели при использовании технологических схем [3] с оставлением целика угля в выработанном пространстве.

4. Разработаны эффективные способы выполнения монтажно-демонтажных работ в лавах при отработке мощных пологих пластов. Использование данных способов на перспективных шахтах позволяет в несколько раз снизить затраты на монтажно-демонтажные работы по сравнению с традиционно применяемыми способами. Продолжительность монтажно-демонтажных работ при этом уменьшается в 1,5-2 раза и более. С увеличением мощности разрабатываемых пластов, глубины ведения горных работ, а также среднесуточной нагрузки на

очистной забой за время отработки столба эффективность разработанных способов возрастает.

5. Исследованы перспективы использования современных высокопроизводительных очистных комплексов на участках с «ограниченными» размерами. Размеры перспективных для отработки участков в условиях шахт Кузнецкого и Воркутского бассейнов постоянно уменьшаются. Данный факт приобретает особое значение в связи с существующей зависимостью между эффективностью использования высокопроизводительных очистных механизированных комплексов и длиной выемочного столба. Так, отрицательные последствия уменьшения длины выемочных столбов с 2000 до 500-750 м в условиях шахт ОАО «Воркутауголь» характеризуются следующими данными: коэффициент использования механизированных комплексов снижается в 2,2-3 раза; среднесуточная нагрузка на лаву за время отработки столба уменьшается в 1,4-1,5 раза; удельные затраты на монтажно-демонтажные работы возрастают в 2,5-4,5 раза.

При разработке перспективных планов развития горных работ необходимо выделять участки с «ограниченными размерами», к числу которых относятся участки, большие размеры которых меньше 0,7-0,8 оптимальной длины выемочного столба. Очистное оборудование для данных участков следует принимать с учетом затрат на монтажно-демонтажные работы и экономических ущербов, связанных со снижением среднесуточной нагрузки на лаву за время отработки столба и потерь добычи в период демонтажа лавы.

В области разработки месторождений калийных солей. Разработаны способы управления горным давлением, позволяющие эффективно решать следующие актуальные задачи, возникающие при отработке калийных пластов на рудниках Старобинского месторождения:

- предотвращение опасных динамических обрушений пород основной кровли (рис.2) в выработанном пространстве лав ранее надработанного нижнего слоя при слоевой системе разработки Третьего калийного пласта;

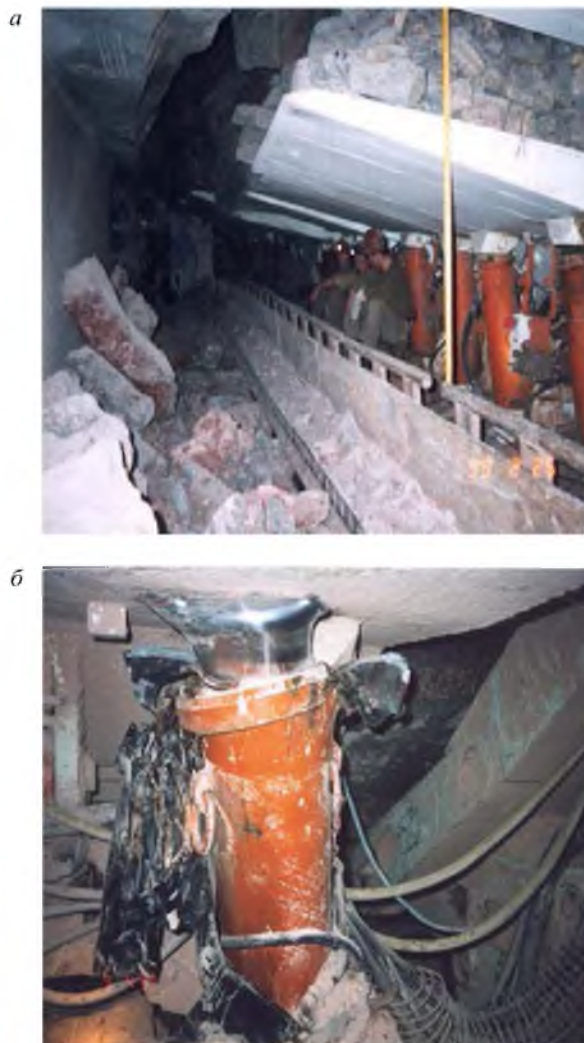


Рис.2. Характер разрушения непосредственной кровли (а) и деформирования стоек секций механизированной крепи (б) при опасном динамическом обрушении основной кровли в выработанном пространстве лавы № 48 (1-е рудоуправление)

- предотвращение внезапных выбросов соли и газов из пород почвы в выработанном пространстве лав ранее надработанного нижнего технологического слоя;

- уменьшение эксплуатационных потерь полезного ископаемого на действующих рудниках, фактические величины которых достигают 40-45 % и более.

В области разработки рудных месторождений.

1. Разработана концепция освоения Холоднинского полиметаллического месторождения. Холоднинское месторождение, лицензионный участок которого находится в

центральной экологической (водосборной) зоне оз. Байкал, является одним из крупнейших полиметаллических месторождений мира, его доля в российских запасах цинка и свинца составляет соответственно 30 и 14,6 %. Месторождение детально разведано более 40 лет назад, но до настоящего времени не разрабатывается.

Предложенная концепция [2] базируется на следующих основных положениях:

- расположение объектов горно-обогательного комплекса в подземных условиях;
- полная закладка выработанных пространств материалами, полученными при переработке хвостов обогащательных фабрик и проведении горных выработок;
- использование подземных рудничных вод для процессов обогащения и подготовки закладочного материала в замкнутом цикле, без выдачи их на поверхность;
- отработка рудных тел без оставления рудных целиков в выработанном пространстве;
- организация на всех этапах строительства рудника и отработки запасов надежного мониторинга химического состава подземных и поверхностных вод, напряженно-деформированного состояния горного массива и технологических процессов в основных подсистемах рудника.

2. Научное сопровождение строительства рудника «Яковлевский» по вопросам совершенствования его технологической схемы. Для условий отработки рудного тела на участках богатых железных руд обоснованы следующие технические решения:

- комбинированный способ отбойки руды в очистных заходках с использованием комбайнов избирательного действия и буровзрывных работ;
- рациональная последовательность проходки очистных заходок в пределах слоя;
- способы дозакладки выработанного пространства с подачей закладочного материала из присечных заходок;
- целесообразность расположения осей очистных заходок нижерасположенного слоя под определенным углом к осям заходок смежного вышерасположенного слоя;

- выбор места расположения временных закладочных скважин;

- способ создания рудопотоков с требуемым уровнем процентного содержания железа;

- способы извлечения крепи очистных заходок.

Большинство указанных технических решений внедрено на руднике «Яковлевский» с получением значительного экономического эффекта.

В области разработки Ленинградского месторождения горючих сланцев. Разработаны технологии, обеспечивающие возможность плавного опускания подрабатываемой толщи, что снижает вероятность прорывов подземных вод в горные выработки и возможность загрязнения водного бассейна региона вредными веществами, содержащимися в сланцевых пластах и вмещающих породах. Плавное опускание кровли сланцевого пласта достигается путем создания в выработанном пространстве породных опор, на которых устанавливают пневмобаллоны. По мере подвигания очистного забоя пневмобаллоны переносят по определенной схеме с задних рядов породных опор на передние.

Новые технические решения, созданные коллективом научной школы «Разработка месторождений твердых полезных ископаемых» в 2007-2012 гг., защищены более чем 134 патентами на изобретения. По результатам выполненных исследований за указанный период подготовлено 28 кандидатских диссертаций, опубликовано 242 научных статьи, получено более 19 медалей и дипломов на выставках и конкурсах, в 2009 г. получена премия Правительства РФ. При непосредственном участии коллектива школы изданы три тома «Российской угольной энциклопедии». В этом издании более 50 именных статей подготовлены членами коллектива научной школы.

Актуальные задачи научной школы на данном этапе можно сформулировать следующим образом:

1. Создание теоретических основ мониторинга развития опасных геомеханических и газодинамических процессов, знание ко-

торых необходимо для принятия превентивных мер по предупреждению катастрофических аварий на угольных шахтах и рудниках при высокой пространственной концентрации и интенсивности горных работ.

2. Разработка ресурсосберегающих технологий освоения месторождений твердых полезных ископаемых, конкурентоспособных на мировом рынке интеллектуальной собственности.

3. Подготовка высококвалифицированных горных инженеров-технологов мирового уровня и специалистов высшей квалификации (кандидатов и докторов наук), способных к быстрой адаптации к производственной и научной сферам, характеризующимся непрерывными инновациями и жесткой конкуренцией наукоемких концепций и технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зубов В.П.* Оценка максимально допустимых нагрузок на лаву при бесцеликовых технологиях отработки

пластов на шахтах с повышенным выделением метана / *В.П.Зубов, В.С.Елькин* // Газовая промышленность. 2012. Специальный выпуск. С.37-39.

2. *Зубов В.П.* Концепция отработки Холоднинского полиметаллического месторождения / *В.П.Зубов, О.В.Михайленко* // Интернациональный университет ресурсов. Фрайберг. 2010. Т.1. С.209-212.

3. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков угольных шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок // Информационный бюллетень Минприроды России. 2009. № 12.

REFERENCES

1. *Zubov V.P., Elkin V.S.* Estimation of maximum permissible load on face in the age of non-pillar mining at mines with high methane emission // Gas industry. 2012. Special Issue. P.37-39.

2. *Zubov V.P., Mikhajlenko O.V.* Concept of exploitation of Kholodninskoye polimetallik deposit // Scientific Reports on Resource Issues., , International University of Resources. Freiberg. 2010. Vol.1. P.209-212.

3. Instructions for use of working area's ventilation schemes at coal mines with isolated methane drainage from mined-out area by using gas-suction plants // Inform. Bull. of Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. 2009. N 12.