В.П.Зубов, Ю.Д.Дядькин, О.В.Ковалев, Н.И.Слюсарев, С.В.Васильев

УДК 622.831

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Приведены результаты научных исследований, выполненных кафедрой разработки месторождений подземным способом в 2000 г., по проблемным вопросам подземной разработки угольных, сланцевых и соляных месторождений.

Сформулированы требования к технологическим схемам отработки пластов на участках с ограниченными размерами при использовании высокопроизводительных механизированных очистных комплексов. Предложены и обоснованы способы повышения эффективности отработки тонких угольных пластов с использованием струговых установок.

Исследованы причины динамических обрушений пород кровли в нижних лавах при слоевых системах разработки. Сделаны выводы относительно наиболее перспективных способов отработки техногенных и нефтегазовых месторождений. Разработаны рекомендации по подземному сжиганию угля с целью получения пара и производства электроэнергии.

Results of scientific research of the Department of Underground Mineral Deposits Development performed in 2000 on the problem questions of underground mining of coal, shale and salt deposits are given an account of. Requirements for technological process flowsheets of useful component extraction from bounded beds using high-output mechanised cleaning machines have been established. Methods of effectiveness increase during extraction from thin coal beds using plough machines have been introduced and given grounds to. Causes of dynamic caving of roof rock at lower longwalls during slice mining have been studied. Conclusions about relatively more perspective means of technogenic and oil-gas field extraction are drawn. Advice on underground coal burning to produce vapour and generate electricity is given.

* * *

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Исследования проводились под научным руководством проф. В.П.Зубова по следующим основным направлениям:

– создание эффективных технологических схем отработки пластов на участках с ограниченными размерами при использовании высокопроизводительных очистных комплексов (аспирант Б.Б.Согрин);

– создание конкурентоспособных технологических схем отработки тонких пластов (в.н.с. С.В.Васильев, аспирант Д.В.Пахомов);

– технологическое обеспечение эффективной отработки пластов с трудноуправляемыми породами кровли (соискатель П.А.Калугин, асс. Д.Г.Петраков).

Повышение эффективности отработки угольных пластов на участках с ограниченным размерами.

Исследования, связанные с созданием эффективных технологических схем отработки пластов современными высокопроизводительными очистными механизированными комплексами на участках с ограниченными размерами, проведены для условий шахт ОАО «Воркутауголь». Перспективные шахты ОАО «Воркутауголь» отрабатывают пласты Тройной, Мощный, Четвертый и Пятый в донной части мульды Воркутского месторождения, расположенной на глубинах 800-1100 м. К специфическим особенностям ведения горных работ в этой части месторождения относится наличие большого числа дизъюнктивных, непереходимых очистными забоями, геологических нарушений типа взбросов и сбросов. Кроме того, планируемые к отработке части месторождения

прилегают к техническим границам шахтных полей. Как следствие указанных особенностей максимальные размеры планируемых к отработке участков изменяются от 600 до 2200 м, что составляет от 0,3 до 0,8 оптимальной длины столба при использовании прогрессивных технологических схем на базе столбовой системы разработки в варианте «лава-ярус».

Анализ российского и зарубежного опыта использования современных механизированных комплексов показал, что достигнутые технико-экономические показатели очистных работ в значительной степени зависят от размеров отрабатываемых частей шахтного поля. По мере увеличения производительности забойного оборудования и возрастания стоимости механизированного комплекса эта зависимость становится все более существенной.

Наибольшее отрицательное влияние размеров отрабатываемых частей шахтного поля на технико-экономические показатели очистных работ наблюдается при их снижении до величин, меньших оптимальной длины выемочных участков, зависящей от ряда факторов, основными из которых являются: производительность выемочной машины, стоимость механизированного комплекса, затраты на выполнение монтажно-демонтажных работ и их длительность.

При снижении максимальных размеров отрабатываемых выемочных участков до некоторых предельных значений использование механизированных комплексов становится экономически нецелесообразным. Данное обстоятельство в современных экономических условиях приобретает особое значение при составлении перспективных планов развития горных работ на новых горизонтах. С одной стороны конкурентоспособность угольной продукции, а, следовательно, и жизнеспособность шахт, может быть реально обеспечена лишь при использовании современного добычного оборудования. С другой стороны отсутствие условий для реализации потенциальных возможностей оборудования может не привести к ожидаемому повышению производительности труда.

Как следует из анализа опыта отработки пластов Мощного, Тройного, Четвертого и Пятого, отрицательные последствия уменьшения длины выемочного столба с 2200 до 500-750 м в условиях шахт ОАО «Воркутауголь» характеризуются следующими данными: коэффициент использования механизированных комплексов снижается в 2,2-3,0 раза; среднесуточная нагрузка на лаву за время отработки столба 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 на новых горизонтах угольных шахт, отрабатываемых с использованием современной высокопроизводительной добычной техники, необходимо выделять участки с "ограниченными" размерами. К числу участков с ограниченными размерами следует относить участки, бóльшие размеры которых меньше оптимальной длины выемочного столба при использовании типовых столбовых систем разработки в варианте «одинарная лава».

Анализ опыта отработки участков с ограниченными размерами на российских и зарубежных шахтах свидетельствует о том, что эффективность использования современных высокопроизводительных очистных механизированных комплексов при отработке участков сближенных пластов с ограниченными размерами может быть существенно повышена при применении технологических схем, предусматривающих разворот лав на границах выемочных участков без демонтажа механизированных комплексов в сочетании с групповой подготовкой пластов. Известные технологические схемы с разворотом лав на границах выемочных участков без демонтажа механизированных комплексов разработаны применительно к отработке одного пласта, что не позволяет их непосредственно использовать в условиях отработки сближенных пластов.

Сущность предлагаемых технологических схем совместной отработки защитных (Четвертого и Пятого) и опасных по газодинамическим явлениям (Тройного и Мощного) пластов заключается в совместной под-

готовке и одновременной отработке сближенных пластов (Тройного и Четвертого, Мощного и Пятого) с опережением очистных работ по защитному нижнему пласту. Подготовка сближенных пластов осуществляется путем проведения групповых основных подготовительных выработок. Разворот лав на границах выемочных участков производят последовательно: вначале по нижнему, затем по верхнему пластам.

Областью рационального применения рекомендуемых технологических схем в условиях отработки донной части мульды Воркутского месторождения являются участки шахтных полей, максимальные размеры которых не превышают 0,7-0,8 оптимальной длины столба при применении прогрессивных технологических схем. Максимальный экономический эффект достигается при размере участков, равных 0,5-0,6 оптимальной длины столба при использовании столбовой системы разработки в варианте «лава-ярус».

По сравнению с традиционно применяемыми на перспективных шахтах ОАО «Воркутауголь» технологическими схемами реализация разработанных схем позволит: в 1,2-1,3 раза и более уменьшить затраты на монтажно-демонтажные работы, повысить на 10-15 % коэффициент использования механизированных комплексов, на 30-40 % уменьшить невосполнимые потери добычи в начальный и завершающий периоды отработки столбов.

Повышение эффективности отработки тонких пластов.

Новые условия функционирования шахт предопределяют принципиально иные, чем в условиях плановой экономики, подходы к оценке запасов и потерь полезного ископаемого. К числу эффективных мероприятий, не требующих значительных затрат, относится вовлечение в первоочередную отработку наиболее качественных запасов с консервацией остальных запасов до выхода шахты на рыночные стандарты эффективности. В основном это пласты мощностью 2,5-4,5 м с благоприятными условиями разработки.

Отказ от отработки тонких пластов не всегда возможен. Как правило, такие ситуации возникают при использовании опережающей отработки тонких пластов в качестве защитных, предупреждающих газодинамические и динамические явления на основных рабочих выбросо- и удароопасных пластах. Исключение из отработки тонких пластов приводит к необходимости применения локальных методов борьбы с указанными явлениями, связанными с дополнительными затратами, изменением режима работы предприятия и снижением уровня безопасности ведения горных работ.

В условиях шахт ОАО «Воркутауголь» основными рабочими пластами являются выбросо- и удароопасные пласты Тройной и Мощный, отработка которых характеризуется высокими технико-экономическими показателями. Однако безопасная выемка этих пластов возможна только при опережающей отработке защитных пластов Четвертого (мощностью 1,3-1,6 м) и Пятого (мощностью 0,9-1,1 м). Технико-экономические показатели их отработки значительно уступают соответствующим показателям, достигнутым на пластах Тройной и Мощный.

Необходимость поиска эффективных технологических схем отработки пластов мощностью до 1,5-1,6 м диктуется также и тем, что значительная часть кондиционных запасов ряда угольных бассейнов сосредоточена в таких пластах. Так, на шахтах Восточного Донбасса удельный вес добычи из пластов мощностью до 1,3 м достигает 47 %; все рабочие пласты ОАО «Ростовуголь» имеют мощность не более 1,7 м. Вместе с тем, шахты данного региона являются основным поставщиком высококачественного антрацита для нужд юга России.

Следует также отметить, что консервация тонких пластов, залегающих выше основных рабочих пластов, в ряде случаев невозможна из-за опасности потери заключенных в этих пластах запасов при их подработке.

К числу реально осуществимых путей повышения конкурентоспособности тонких пластов следует отнести улучшение качества добываемого полезного ископаемого и повышение эффективности очистных работ.

Это может быть достигнуто, в частности, путем применения струговой технологии выемки угля, которая имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с комбайновой выемкой: более высокие технико-экономические показатели добычи, лучшее качество угля и потенциальная возможность работы очистных забоев без постоянного присутствия людей.

Анализ применения струговой технологии за рубежом показал, что в ФРГ на пластах мощностью до 1,4 м применяют только струговые комплексы (100 %). В России наибольшее распространение струговая выемка получила в восточной части Донецкого бассейна и составляет около 20 %.

Результаты проведенных исследований позволили установить основные причины неудовлетворительной работы отечественных струговых установок и определить приоритетные направления совершенствования технологических схем при струговой выемке по фактору «горное давление», сформулировать требования к параметрам и способам управления горным давлением.

Достижение сравнимых с зарубежными технико-экономических показателей струговой выемки и расширение области ее применения при использовании выпускаемых отечественной промышленностью струговых установок возможно осуществить путем реализации предлагаемых принципиально новых подходов к созданию прогрессивных технологических схем отработки угольных пластов [2, 3]. *Идея работы заключается в технологическом обеспечении целенаправленного управления состоянием массивов горных пород и создании условий для перераспределения напряжений в краевой зоне пласта впереди забоя лавы, что позволяет управлять интенсивностью отжима угля на различных участках по длине лавы* [4]. С учетом этого сформулированы новые требования к выбору конструктивных параметров струга и режимов его работы, учитывающие то обстоятельство, что функция струга, как установки для отделения угля от массива (снятие стружки), становится второстепенной.

Результаты проведенных исследований создают предпосылки для существенного повышения эффективности использования отечественных струговых установок и расширения областей их применения.

Повышение эффективности отработки пластов с трудноуправляемыми породами кровли.

Исследования проведены для условий отработки Третьего калийного горизонта на рудниках ПО «Беларуськалий». В пределах Третьего калийного горизонта отрабатываются три сильвинитовых слоя суммарной мощностью 4-4,8 м. Глубина разработки 585-800 м.

К числу перспективных технологических схем отработки Третьего калийного горизонта относятся технологические схемы, основанные на использовании столбовых систем разработки с разделением пласта на два слоя. Верхними лавами отрабатывается четвертый сильвинитовый слой мощностью 1,2-1,3 м, нижними – второй и третий сильвинитовые слои суммарной мощностью 1,9-2,2 м. Однако потенциальные возможности прогрессивных столбовых систем разработки и применяемых высокопроизводительных механизированных комплексов реализуются не полностью из-за динамических обрушений пород кровли в выработанном пространстве лав, приводящих к снижению безопасности работ, деформированию элементов крепи, жесткому зажатию секций крепи, вывалам и значительным потерям добычи при простоях очистных забоев. При динамических обрушениях кровли нажестко одновременно зажимается до 64 секций механизированной крепи, величины опусканий пород кровли в лавах достигают 550-650 мм и более.

Как правило, продолжение очистной выемки в лавах после динамических осадок кровли без проведения ремонтных работ невозможно. Невосполнимые потери добычи соли, связанные с ликвидацией последствий этих явлений, достигают сотен тысяч тонн.

Основные научные и практические выводы, полученные в процессе выполнения работы, сводятся к следующему. При слоевых системах разработки мощных пластов

факторами, оказывающими определяющее влияние на интенсивность и вероятность динамических обрушений пород кровли в выработанном пространстве лав надрабатываемого слоя, являются: расположение лав относительно краевых частей соляного массива, сформировавшихся при отработке верхнего слоя; расстояние от рассматриваемых участков лавы до подготовительных выработок; стадия деформирования массива, вызванного очистными работами в верхнем слое.

Наиболее вероятными местами отрицательного влияния динамических обрушений пород кровли в выработанном пространстве на технологические процессы в очистном забое являются средние участки лав, удаленные от подготовительных выработок на расстояние более 0,2 длины нижней лавы. На данных участках происходит более 86 % динамических обрушений пород кровли.

Динамические обрушения пород кровли в выработанном пространстве нижних лав при слоевых системах разработки связаны с разрушением арочных шарнирных систем, образующихся из пачек породных слоев основной кровли Третьего калийного пласта и сформировавшихся при отработке верхней лавы. *Установлено, что данная ситуация наиболее вероятна (85 % и более) при прохождении нижних лав под трещинами разлома, образовавшимися в подрабатываемом массиве: при длительных простоях верхних лав; у линии остановки верхней лавы на демонтаж; при первом (генеральном) обрушении пород основной кровли в верхней лаве.* Нагрузки на крепь нижних лав при разрушении арочных систем из породных блоков основной кровли достигают 600-900 кН/м^2 и более, что в 1,5-2 раза превышает несущую способность крепей, применяемых в настоящее время на рудниках ПО «Беларуськалий».

Наиболее неблагоприятные условия управления кровлей в нижних лавах создаются при отходе их от монтажных печей верхних лав на расстояние, равное 1,2-1,5 шага первого обрушения пород основной кровли, и в завершающие периоды отработки столбов при подходе нижних лав к линиям остановки верхних лав на расстояние, меньшее величины произведения котангенса угла полных обрушений пород кровли на высоту развития от пласта трещин разлома, возникающих в подработанном массиве у линии остановки верхних лав. В указанные периоды происходит до 75 % динамических осадок, приводящих к нарушению технологических процессов в нижних лавах и жесткому зажатию секций механизированной крепи.

На вероятность опасных динамических обрушений пород кровли в выработанном пространстве нижней лавы существенное влияние оказывает фаза сдвижений подработанного массива горных пород, вызванных выемкой верхнего слоя. При одновременной отработке слоев очистные работы по нижнему слою необходимо производить с отставанием, превышающим продолжительность периода стабилизации скоростей опускания массива пород, подработанного верхней лавой. Длительность этого периода в рассматриваемых условиях составляет 9-10 месяцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Исследования выполнили под научным руководством проф. О.В.Ковалева к.т.н. Ю.Г.Сиренко, к.т.н. И.Ю.Тхориков, аспиранты А.А.Кудрявцев, В.Л.Димчина, ассистенты профессора О.Э.Анфильофьев, И.В.Калавриос. Результаты исследований использованы аспирантами А.А.Кудрявцевым и В.Л.Димчиной при подготовке кандидатских диссертаций.

Геомеханическая тематика в общей проблеме эксплуатации месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых подземным способом, представлена комплексом самостоятельных направлений, включающих как собственно технологические аспекты, так и аспекты их синергетического «сопровождения». К последним относятся проблемы обоснования и возможности применения в конкретных горно-геологических условиях рациональных технологий при на-

дежно гарантированном обеспечении условий безопасного ведения горных работ (техническая безопасность) и нормативно требуемого уровня защиты окружающей среды (экологическая безопасность). Поскольку последние проблемы непосредственно предопределяют уровень инвестиций, необходимых для реализации добычи полезного ископаемого, то очевидно их значимое влияние на конкурентоспособность горного предприятия.

Решение вопросов безопасного (в указанных аспектах) применения рациональных технологий осуществлялось для условий пластовых месторождений: Старобинского калийного месторождения, Ленинградского месторождения горючих сланцев.

Методологической базой исследований являлся интегральный подход к изучению реальных геологических и горно-технических параметров указанных объектов с последующей разработкой метода оценки геомеханического состояния вмещающей подземные объекты среды. Очевидно, что такое состояние достаточно однозначно определяет уровень и технической и экологической безопасности, а соответственно – и возможную рационализацию технологий добычи.

Геомеханическое изучение неоднородных, многосвязных, квазисплошных массивов горных пород было реализовано с привлечением одного из наиболее перспективных методов горной геомеханики – метода граничных элементов (МГЭ). Например, в варианте данного метода – метода фиктивных сил (МФС) подобные задачи, как известно, могут быть (с применением персонального компьютера) сведены к решению матричного уравнения вида:

$$A \times P = R,$$

где A – матрица преобразования единичных усилий на участках граничных поверхностей в напряжения; P – матрица искомых усилий на тех же участках; R – матрица граничных значений напряжений на участках.

Поскольку решение матричного уравнения, эквивалентного решению системы линейных алгебраических уравнений довольно высокого порядка, с высокой точностью затруднительно, то было применено модернизированное решение на базе последовательных приближений (итераций), позволившее исключить указанный недостаток. Был использован вариант метода разрывных смещений (МРС), более мобильный при решении ряда горно-геомеханических задач.

Используя указанные методологические подходы, были решены нетривиальные горно-геомеханические задачи для предприятий упомянутых месторождений.

Для Ленинградского месторождения горючих сланцев характерно возможное техногенное воздействие подработки на ряд факторов окружающей среды, в частности: на гидрологию поверхности, включая и изменения поверхностного стока, на гидрологические условия в подрабатываемом массиве, включая возможность интоксикации подземных вод шахтными водами и др.

Было установлено наличие внутренних связей между проблемой экологической безопасности и основными параметрами отработки Ленинградского месторождения горючих сланцев. К таким факторам относятся принимаемые параметры системы разработки и способы управления состоянием горного массива, вмещающего очистные и подготовительные выработки. При рассмотрении систем разработки были выделены технологические факторы, выраженные (укрупненно) через коэффициент извлечения полезного ископаемого. Среди способов управления состоянием горного масива (УСГМ) – варианты управления породами кровли в выработанных пространствах (ВП) выемочных участков: с применением междукамерных целиков, закладки ВП, либо полного обрушения пород кровли. Показано, что НДС пород налегающей (подрабатываемой) толщи является одной из основных, требующей обстоятельного изучения проблем, определяющей как решение горно-технических, так и экологических вопросов на месторождении. При решении указанных вопросов, на базе анализа обобщения существующих методов изучения напряженно-деформируемого состояния «возмущаемых» горными работами массивов, был принят упоминавшийся выше МГЭ (его модифика-

ция – МРС). Реализуя выбранное методическое направление исследований, была осуществлена разработка горно-геомеханических моделей (ГГМ) и расчетных схем (РС) для изучения НДС пород в подрабатываемых элементах массива. Проведена оценка всех компонентов полей σ_{ij}, ε_{ij}, δ_{ij} в указанных элементах в функции горно-технических условий отработки запасов горючего сланца на Ленинградском месторождении.

Резюмируя результаты НИР, отметим, что в работе исследованы и обобщены геологические и технологические условия отработки горючего сланца на шахтах Ленинградского месторождения. Выполнено исследование механических состояний налегающего массива (и земной поверхности) в функции его свойств и технологических условий отработки пласта горючего сланца. Установлены инженерные зависимости, дающие практикам возможность оперативной оценки и рационализации параметров систем разработки во взаимоувязке с вопросами технической и экологической безопасности предприятия.

Для условий Старобинского месторождения решена сложная горно-геомеханическая задача оценки взаимовлияния отработки трех горизонтов рудника 1РУ ПО «Беларуськалий» на площадях, предусматриваемых к перспективной отработке запасов для случая реализованного на горизонтах обратного порядка отработки пластов.

Научно-методическая база решаемой задачи в общей постановке была аналогичной рассмотренной выше. В тоже время учитывался временной фактор, определенный как значимо различными сроками ведения горных работ на горизонтах, так и специфическими механическими свойствами горных пород данного месторождения, в частности, выраженных их пластичностью. Для характерных участков массива, соответствующих оцениваемой по геомеханическому фактору зоне перспективной отработки запасов II и III калийных горизонтов (с учетом влияния III каменносолевого горизонта), разработаны горно-геомеханические модели и соответствующие им расчетные схемы. На их базе исследованы параметры напряженно-деформированного состояния неоднородных квазисплошных сред в зонах предстоящей отработки запасов.

В качестве граничных условий принимались статические, формирующие поля компонентов σ_{ij}, ε_{ij}, δ_{ij} в «невесомой» полуплоскости и отвечающие контурным значениям вертикальной составляющей внешнего поля, равным соответствующим гравитационным нагрузкам в МГП на уровне III калийного горизонта.

Для всех варьируемых условий в выработанных пространствах, окружающих перспективные площади отработки калийных горизонтов, по разработанным ГГМ и РС рассчитаны компоненты соответствующих полей напряжений, деформаций и перемещений.

Выполненное геомеханическое обследование МГП в районе перспективного развития горных работ на шахтном поле рудника 1РУ позволило достаточно и необходимо оценить по геомеханическому фактору возможные условия и требования к управлению состоянием массива с учетом развития фронта очистной выемки на рассматриваемых горизонтах.

На основе выполненных НИР разработаны предложения по специфике управления состоянием массива на рассматриваемых площадях отработки запасов солей. Предложения носят общий характер и рекомендованы для использования в проектных проработках ведения горных работ на указанных участках в основном на наиболее «перспективном» III калийном горизонте с целью повышения здесь безопасности горных работ и рационализации на этой основе технологии их ведения.

В целом, обобщая сформулированные предложения, было констатировано:

– порядок отработки оставшихся запасов III калийного горизонта может быть принят как в направлении от контура горных работ (существующего на данный момент), так и в направлении к нему; по геомеханическому (не по технологическому) фактору оба варианта практически одинаковы;

при принятии к проектным проработкам первого варианта целесообразно учитывать время формирования ВП (время уплотнения в ВП обрушенных пород) и развивать отработку запасов вначале на участках, где градиенты геомеханических параметров – коэффициента K_σ концентрации напряжений и протяженности зоны опорного давления между ВП и МГП (III калийный горизонт) будут наименьшими, т.е. с тех участков, на которых сегодня выполняется условие $E_{вп} \rightarrow max$; для этого варианта необходима и специальная проработка условий выемки руды в собственно центральной части рассматриваемой площади (оценка геомеханического и технологического факторов);

– при принятии к проектным проработкам второго варианта (от центра) геомеханические условия на момент окончания выемки, т.е. при подходе горных работ к существующему контуру ВП-МГП также достаточно благоприятны, что следует из возможности увеличения времени t существования ВП на контуре запасов; пропорционально t изменяется и параметр $E_{вп}$, стремясь к некоторым максимальным значениям; следствием этого процесса является изменение характерных параметров проявлений горного давления в приконтурной части (МГП-ВП) массива в позитивном направлении (снижение K_σ, протяженности зон опорного давления и др.);

– при проектировании схем отработки оставшихся на III калийном горизонте запасов (подготовительные и очистные работы) целесообразно учитывать геометрию развития фронта очистных работ (ФОР); предпочтительной по геомеханическому фактору – будет являться такая форма развития ФОР, при которой очистное пространство (ВП) опережает некоторую квазипрямолинейную конфигурацию; интегрально преимущества (в геомеханическом плане) этой схемы развития ФОР отражены параметром K_σ; отмечено, что конфигурация ФОР может влиять на формы (вид, интенсивность) проявлений горного давления как в подготовительных, так и в очистных выработках.

Разработан и ряд иных прикладных рекомендаций, целесообразных к использованию как в проектных проработках, определяющих условия ведения работ в центре шахтного поля рудника, так и при непосредственной их реализации в горных выработках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОТРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Исследования проводились под научным руководством проф. В.П.Зубо́ва и доц. Ю.Л.Минаева группой сотрудников кафедры (доц. Н.В.Ковтун, студенты Д.Ю.Минаев и А.А.Сидоренко).

Предприятия горно-добывающего и перерабатывающего комплексов являются наиболее крупными источниками отходов на земной поверхности. В России заскладировано около 85 млрд т горных пород и отходов переработки полезных ископаемых. Ежегодный выход отходов составляет 3,7 млрд т, в том числе вскрышных и вмещающих пород 3,3 млрд т, отходов обогащения 400 млн т. Общая площадь занимаемых ими земель составляет 9 тыс.га.

В отвалах пород, хвостохранилищах и шлакохранилищах скопилось громадное количество цветных и благородных металлов. Только в хвостах обогатительных фабрик доля неизвлеченного металла от их количества в исходной руде составляет: меди 15-25, цинка 26-47, свинца 23-33, золота до 33, никеля 10-25, кобальта 24-36, серебра до 26 %.

Анализ техногенных месторождений золотодобывающих районов России показывает, что ежегодно в отвалах теряется по Амурской обл. около 5 т золота, в Якутии – 7 т, Магаданской обл. около 7 т, Чукотском АО – 4 т и т.д. В техногенных месторождениях Иркутской обл. содержание золота достигает 553 мг/м^3, Чукотского АО – 552 мг/м^3, Якутии – 290 мг/м^3

В хвостохранилище № 1 ОАО «Норильский Никель» объемом 144 млн м^3 содержится до 1,4 г/т золота, до 10 г/т платиноидов. В хвостохранилище пирротиновых концентратов объемом 11 млн т. содержание металлов платиновой группы достигает10 г/т,

золота 0,3 г/т. В хвостах Бурибаевской обогатительной фабрики на Урале содержится 0,54 % меди, 1,2 г/т золота, 10,3 г/т серебра. Только в хвостохранилище Красноуральской обогатительной фабрики на Урале содержится 96,5 тыс.т. меди, Учелинской – 85,6 тыс.т, Гайской 152,3 тыс.т, Среднеуральской – 83,4 тыс.т, Бурибаевской – 25,7 тыс.т.

Не все техногенные образования представляют в настоящее время практический интерес. Среди техногенных образований следует выделять техногенные месторождения, содержащие полезные компоненты, в объемах, при которых обработка техногенных месторождений экономически целесообразна.

Формирование хвостохранилищ зависит от технологии складирования отходов обогатительной фабрики, порядка их размещения во времени и сроков давности складирования, гранулометрического состава и соотношения твердой и жидкой фаз и др.

В пределах техногенного месторождения распределение полезных компонентов неравномерно. Так, при формировании галечных и эффельных отвалов при разработке россыпных месторождений золота и платины дражным способом формируются зоны богатые полезным компонентом и бедные.

Анализ материалов показывает, что хвостохранилища характеризуются наличием обогащенных полезным компонентом участков, которые выявлены как в плане, так и по глубине, и приурочены в основном к местам слива пульпы в хвостохранилище и к их дну. Форма и размеры техногенных залежей в плане определяются условиями намыва хвостов в хвостохранилище, удельным весом сбрасываемых частиц и их крупностью. Техногенные залежи имеют преимущественно выдержанную пластообразную или линзообразную форму, хотя могут наблюдаться и более сложные формы контуров, при этом мощность залежей изменяется от нескольких метров до десятков. Для ряда хвостохранилищ характерной особенностью является их слоистая структура с ярко выраженным чередованием обогащенных пластов и безрудных участков.

Известные технологии разработки техногенных месторождений основаны на применении мощного карьерного оборудования с валовым извлечением всех хвостов и отправкой их на обогатительную фабрику. Применяемая технология является абсолютно не эффективной из-за значительных затрат не только на процесс обогащения, но и на экскавацию и транспортирование бедного сырья на обогатительную фабрику.

Наиболее перспективной является селективная разработка обогащенных полезным компонентом линз, пластов, пропластков техногенных месторождений. Применение селективной разработки только богатых участков вытекает из их строения и распределения в нем полезных компонентов.

Конкретная технология отработки богатых техногенных залежей определяется их пространственным расположением в хвостохранилище, физико-механическими свойствами песков, содержанием полезных компонентов. Наиболее перспективными способами разработки богатых участков хвостохранилищ являются:

– гидравлический, позволяющий производить размыв хвостов в виде пульпы и их транспортированием на обогатительную установку.

– геотехнологический, с использованием кучного и чанового химического и микробиологического выщелачивания.

– механический, включающий применение как мощного карьерного, так и шахтного оборудования струговых, бурошнековых установок, комбайнов и другой горной техники.

Технология разработки техногенных месторождений должна увязываться с совершенствованием процессов обогащения и металлургического передела. Следует отметить, что техногенные месторождения представляют собой новый класс месторождений, сформировавшийся в результате деятельности горно-перерабатывающих комплексов, и являются крупным потенциальным источником разнообразных полезных компонентов, в частности редких, цветных и благородных металлов, и бесхозяйственно было бы не вводить их в эксплуатацию.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Работы проводились под научным руководством проф. Н.И.Слюсарева при непосредственном участии соискателя ученой степени кандидата технических наук при аспирантуре СПГГИ (ТУ) А.И.Усова – начальника цеха капитального ремонта скважин НГДУ «Туймазанефть», ассистентов профессора студентов О.С.Жихаревой, Т.В.Кияшко, В.В.Феллера.

Повышение интенсивности и полноты извлечения углеводородов из недр с сохранением экологической обстановки, особенно в настоящее время, является актуальной задачей.

На поздней стадии разработки месторождений накапливается значительный фонд скважин, остановленных из-за высокой обводненности или по другим причинам, при этом большая часть запасов нефти остается невыработанной. Одним из наиболее эффективных методов возвращения к эксплуатации безвозвратно потерянных скважин и существенного повышения нефтеотдачи пласта является бурение боковых горизонтально-направленных стволов.

Анализ проблем технологий бурения горизонтальных стволов позволил выявить ряд нерешенных технологических задач, среди которых наиболее актуальными являются набор зенитного угла искривления и выход на горизонтальное бурение, вскрытие и прохождение дренированных высокопроницаемых пластов. Процессы поглощения промывочной жидкости при проходке горизонтальных стволов оказывают пагубное воздействие на коллекторские свойства пласта и значительно усложняют технологию проводки скважины. Наиболее перспективной технологией горизонтального бурения в истощенных коллекторах является проходка при отрицательности перепада давления в системе «скважина – пласт».

В результате проведенных исследований было установлено, что устойчивость ствола скважины при интенсивном наборе угла искривления достигается ограничением напряжений в породе ниже предела текучести на глубине входа в горизонтальное положение параметрами бурового раствора. Процессы предотвращения осложнений на горизонтальном участке при бурении скважин на депрессии необходимо обеспечивать энергией закрученного потока очистного агента. Разработан состав и исследованы физико-механические свойства промывочной жидкости, отвечающей требованиям передачи энергии забойному двигателю при отрицательном перепаде давления в системе «скважина пласт». Обоснованы физические и математические модели для целенаправленного регулирования функциональных свойств и гидродинамических параметров промывки в технологии горизонтального бурения на депрессии.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований усовершенствована технология бурения горизонтальных стволов скважин на депрессии в истощенных нефтяных пластах, что позволяет уменьшать пагубное воздействие на окружающую среду, а также повышать механическую скорость бурения и безопасность работ, при этом достигаются неоспоримые преимущества вскрытия продуктивного пласта с сохранением естественных коллекторских свойств. Предложенный процесс бурения, обеспечивающий одновременно приток пластового флюида в скважину, позволяет не только исключать методы стимулирования и очитку продуктивного пласта в призабойной зоне, снижать себестоимость скважиной продукции, но и дает возможность эффективно производить оценку пластовых показателей в реальных условиях.

Работа защищена патентом № 2160818 от 20 декабря 2000 г. Отдельные результаты исследований использованы в АНК «Башнефть» в методическом руководстве по проектированию, строительству и эксплуатации дополнительных (боковых) стволов скважин.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ОСВОЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БОЛЬШИХ ГЛУБИН

Исследования выполнены под научным руководством проф. Ю.Д.Дядькина.

Увеличение глубины горных работ неизбежная тенденция дальнейшего освоения природных ресурсов недр. В нефтегазо-

вой отрасли скважины глубиной 4,5-6 км в Ямбурге и в Техасе вряд ли надолго останутся рекордными. Однако основой энергетики нового века по ресурсным условиям станет, конечно, не нефть и не сравнительно чистый природный газ, а наиболее грязное топливо – уголь. Его годовая добыча в Китае и США уже достигла 1 млрд т. Хотя на самых глубоких рудниках Южной Африки планируется разработка богатых месторождений золота от 4,5 до 5 км, можно ли считать это «разведкой боем» для угольных шахт? Трудный опыт их углубления до 1,3-1,5 км дает основание сомневаться в возможности использования традиционной технологии угледобычи на глубинах более 2 км из-за интенсивного метановыделения, внезапных выбросов угля и газа, трудностей поддержания выработок, пучения почвы, температуры выше 40-60 °С. Между тем на этих глубинах расположена основная часть обширных будущих ресурсов угля. Например, угленосные свиты Печорского бассейна погружаются до 7 км, угленосные толщи Кузбасса – до 9 км, Восточного Донбасса – до 3-6 км и т.д. Таким образом, переход к скважинным методам добычи или переработки угля in situ на больших глубинах рано или поздно станет неизбежным. Для урана, каменной соли, серы скважинная добыча уже стала основной технологией. Предложенная Д.И.Менделеевым, развитая Б.И.Бокием и др. подземная газификация угля (ПГУ) также была освоена [5], но оказалась невыгодной из-за низкого качества продукции. По замыслу авторов уголь должен был гореть до образования оксида углерода, который может в печах догорать до CO_2, но никто не мог запретить догорать CO в CO_2 уже в огневом забое, что и происходило. В продуктах ПГУ горючие компоненты составляли лишь 25-30 %, при теплоте сгорания до 800-1000 ккал/м^3 или 3,3-4,2 МДж/м^3 Поэтому освоенный в те же годы природный газ (примерно 40-50 МДж/м^3) оказался вне конкуренции [1, 5].

В 2000 г. на кафедре РМПС разрабатывался ряд технологических идей с использованием скважинной добычи [1].

Все новые предложения включают гидроразрывы пластов или породного массива между скважинами – единственный, реальный способ резкого увеличения фильтрационных возможностей месторождения, т.е. подготовки его к скважинной разработке. В 2000 г. получено принципиально важное решение, позволяющее использовать фундаментальные положения микродефектной теории трещин в задачах геомеханики.

Скважинная угле-паро-газовая технология включает термовакуумную предварительную дегазацию выбросоопасного пласта после его прогрева паром через дренажные скважины и трещины гидроразрыва примерно на 100 °С (из анализа известного уравнения Викке установлено, что ускорение десорбции метана от снижения давления соответствует эффекту от повышения температуры, экспериментально – от 0,2 до 0,5 м^3/т на каждый градус нагрева [5]). В данном случае целевая задача – снизить газоносность двухметрового пласта на глубине 1 км от 25 до 5 м^3/т и устранить вентиляционное ограничение нагрузки на лаву длиной 200 м, т.е. возможность работы комплекса с производительностью 5000 т в сутки, не превышая допустимые значения концентрации метана и скорости вентиляционной струи. По балансу энергии для получения необходимого при прогреве угля пара, нагнетаемого по теплоизолированным скважинам (они нужны и для гидроразрывов), достаточно не более одной трети каптируемого из пласта метана. Вполне возможно, что в конкретных условиях будет удобнее использовать полученный метан по другому значению, а для прогрева пласта использовать серийные электропарогенераторы АО ЦКТИ или взрывобезопасные компрессоры АО «Пневматика», дополнив их цилиндры клапанами для вспрыскивания охлаждающей воды и выхода пара (предложение С.Н.Толстунова).

Для сверхглубоких угленосных свит (более 2-3 км) вскрытие скважинами (в том числе вертикально-горизонтальными), гидроразрывы и дополнительный прогрев пластов могут быть использованы как первая стадия (дегазация) или только для исполь-

зования наиболее ценной части энергоресурсов извлечения метана. Уместно напомнить, что его общий объем в угленосных формациях превышает мировые ресурсы природного газа.

Идея подземного сжигания угля для получения пара и производства электроэнергии защищена авторским свидетельством и патентами. Многолетние эксперименты подтвердили: если в огневой забой подается достаточное количество воздуха, уголь устойчиво горит даже под столбом воды в кварцевой трубе, а измеренная температура достигает при этом 1300 °С.

Принципиальное отличие нашей идеи от ПГУ, как уже указано, – в энергетической ценности продукции. В ПГУ – это оксид углерода с низкой теплотворной способностью (1,03 МДж/моль), а в нашем предложении энергия угля превращается в скрытую теплоту пара, вырабатывающего электроэнергию. Общей является операция розжига пласта и подачи окислителя – воздуха. Можно полагать, что после 1965 г., когда на шести шахтах СССР работали станции ПГУ, эта операция не стала ни более сложной, ни более опасной.

Пар закритических параметров (например 570 °С) направляется в турбогенератор из стандартного теплообменника типа УПГ, в котором получает энергию от очень горячего и грязного потока газопаро-дымовой смеси, поступающей через скважины из огневых забоев, где угольный пласт полностью сгорает до CO_2 in situ в водо-воздушной среде с избытком кислорода. В воздухоподающих скважинах форсунки разбрызгивают необходимое количество воды, а предварительный гидроразрыв пласта облегчает фильтрацию смеси к фронту горения. Углекислотные или порошково-пенные пламягасители на любом этапе могут изолировать этот фронт, т.е. прекратить горение.

В условиях упомянутого ранее примера с длиной столба $L_в = 3000$ м при длине лавы $l_в = 200$ м, выбросоопасного пласта мощностью $M_1 = 2$ м на глубине 1 км рассмотрим возможность его подработки путем сжигания непригодного для рентабельной выемки защитного пласта мощностью $M_2 = 0{,}5$ м, залегающего на 20 м ниже. Защитный пласт может быть вскрыт системой вентиляционных междупластовых скважин из штреков пласта M_1, например через каждые 60 м. По этому пласту также проводится гидроразрыв по всей площади выемочного поля. Поскольку один из размеров сжигаемой панели резонно принять равным длине лавы $l_в$, ее второй размер, т.е. длина огневого забоя при объемной теплоемкости, теплоте сгорания угля $c_\upsilon = 1{,}7$ МДж/м^3 и $q_т = 6300 = 26{,}4$ МДж/кг, $\Delta T = 100$°С составит:

$$l_0 = c_\upsilon M_1 L_в \Delta T k_\lambda^2 / (q_т \rho M_2 \eta_с) = 118 \text{ м}.$$

При $2l = 120$ м из опыта подземной газификации угля [4] коэффициент тепловых потерь огневого забоя принимается $k_\lambda = 1{,}25$, коэффициент неполного выгорания пласта по мощности и по площади $\eta_с = 0{,}85$.

При указанных значениях величин общий расход тепла, необходимый для прогрева выемочного столба пласта M_1, составит:

$$Q_т = c_\upsilon M_1 L_в l_в k_\lambda = 255 \text{ МДж}.$$

При минимальном приросте десорбции метана от прогрева пласта, как отмечено выше, $\Delta a_{м.г} = 0{,}2$ (м^3/т)°С, обеспеченное прогревом пласта дополнительное количество каптированного метана можно оценить выражением:

$$Q_м = q_м \Delta T \rho M_1 L_1 l_1 k_\lambda = 30 \text{ млн/м}^3$$

При сжигании этого метана в шахтной котельной с КПД $\eta_т = 0{,}8$ возможная теплопродукция составит при теплотворной способности метана $q_м = 50$ МДж/м^3:

$$Q_{т.м} = q_м Q_м \eta_т = 1200 \text{ млн МДж},$$

т.е. в 4 раза больше, чем нужно.

Однако это не требует, но и не исключает сжигание защитного нерабочего пласта, что полностью исключало бы опасность внезапного выброса на пласте M_1. Напомним, что указанное расчетное давление рабочего пара превосходит полное горное, т.е. геостатическое давление на глубине 1 км, а периодическое его нагнетание в трещины гидроразрыва, безусловно, увеличивало бы их фильтрационные возможности. После

использования пара от сжигания лишь одной из 24 панелей выемочного поля остальная паропродукция могла быть использована в турбине с высоким КПД = 0,6 для производства электроэнергии, расчетный объем которой (с небольшой добавкой ненужного в этом случае метана) составляет около 2 млрд кВт·ч. Если после глубокой дегазации и подработки выемочный комплекс действительно выработает запасы длинного столба (1,5 млн т) за 1 год и столько же времени будет потрачено на подготовку следующего такого столба, средняя мощность работающей на полученном паре энергоустановки составит более 50 МВт, что, повидимому, превосходит суммарную мощность всех электроприводов современной крупной шахты.

Полученная электропродукция должна окупить инвестиции только в строительство скважин, гидроразрывы и технологическое оборудование. В первом приближении перечисленные вложения определены по нашим зависимостям [1], описывающим результаты обобщенных Д.Тестером обширных фактических материалов с учетом коэффициента инфляционного роста цен за 11 лет ($k_{инф}$ = 1,54). Затраты на создание 14 глубоких и 102 межпластовых скважин определены в 3,2 млн дол., на 28 гидроразрывов по обоим пластам – 3,57 млн дол. на теплотехническое оборудование и трубопроводы – 0,83 млн дол. Сумма инвестиций при коэффициенте риска 1,5 составила 11,4 млн дол. Эксплуатационных расходы на обслуживание, материалы, ремонты, зарплату персонала и др. оценены в 1,5 млн дол./год. Общая сумма затрат за два года составит 14,4 млн дол., при этом себестоимость продукции получит значение 1,5 цента за 1 кВт·ч, что примерно на порядок ниже современных цен.

В экологическом отношении достоинства технологии очевидны: она представляет собой один из путей к получению электроэнергии из угля без его добычи и транспорта, без складов и котельных, без фильтров, золо- и шлакоотвалов. Предварительная оценка предлагаемой технологии дает основание полагать, что она найдет место среди других перспективных путей неизбежного перехода к энергетическому освоению угольных ресурсов больших глубин.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дядькин Ю.Д.* Новые способы геотехнологической разработки месторождений / Межд. бюро по горной теплофизике; СПГГИ. СПб, 2000. С.5-8.

2. *Зубов В.П.* Пути повышения эффективности струговой технологии разработки пологих угольных пластов // Горное дело в Арктике: Тезисы докладов 3-й Международной конференции / В.П.Зубов, С.В.Васильев; СПГГИ. СПб, 1994.

3. *Зубов В.П.* Геомеханические предпосылки повышения производительности отечественных стругов // Горное оборудование, переработка минерального сырья, новые технологии, экология: Тезисы докладов международного симпозиума / В.П.Зубов, С.В.Васильев; СПГГИ. СПб, 1996. С.79.

4. *Зубов В.П.* Повышение производительности отечественных стругов при высокой сопротивляемости пласта резанием: Сборник трудов научно-методической конференции / В.П.Зубов, С.В.Васильев, Д.А.Черняков, С.М.Назаров; СПГГИ. СПб, 1999.

5. *Крейнин Е.В.* Подземная газификация угля / Е.В.Крейнин, К.Н.Федоров, Г.М.Звягинцев, Г.М.Пьянкова. М.: Недра, 1982. 236 с.