

ратории приняли участие в 6-и международных научно-практических конференциях. Защищено 2 кандидатские диссертации, подготовлена одна кандидатская диссертация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В.А. Квазикристаллы в кварце песчаников Донбасса // Геотехническая механика, 1998. - №10. - С.35-40.
2. Баранов В.А. Условия формирования квазикристаллов // Сб. научн. тр. НГАУ, 1998. - №3, Т.2.- С.218-221.
3. Стовба С.Н., Толкунов А.П., Стифенсон Р.А., Байер У., Майстренко Ю.П. Глубинное строение Донецкого складчатого сооружения по данным региональных работ МОГТ на профиле ДОБРЕ-2000 // Науковий вісник НГАУ, 2002. - №4. – С.81-84.
4. Баранов В.А. Влияние структуры на пористость песчаников Донбасса // Геотехническая механика, 2010 - №.88 - С.70-76.
5. Баранов В.А. Региональная прогнозная оценка нарушенности горных пород / В.А.Баранов, П.Н. Калашник // Материалы междунар. конф. „Форум гірників – 2008”. – Дніпропетровськ, НГУ-С.24-28.
6. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – Т.1. – 1210 с.
7. Баранов В.А. Влияние структуры на прочность песчаников Донбасса // Геотехническая механика, 2009. - №83.- С.66-72.

УДК 622.831.24.001.5

Отдел управления динамическими проявлениями горного давления, зав. отделом, д-р техн. наук Ю.И. Кияшко

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ В ОТДЕЛЕ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЯВЛЕНИЯМИ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

У статті надано стислий огляд історії відділу. Наведено результати наукових розробок співробітників відділу стосовно дослідження десорбційних процесів у мікроструктурі вугільної речовини, хвильової та вібраційної дії, математичного моделювання зв'язаних процесів фільтрації метану і зміни напружено-деформованого стану вуглепородного масиву навколо гірничої виробки, фізичного моделювання газодинамічних явищ та впливу людського фактору на технологічні процеси вуглевидобутку.

THE BASIC WORK ASSIGNMENTS IN DEPARTMENT OF CONTROL DYNAMIC INFLUENCE OF MINING PRES- SURE

In the work review of history of department is given. The results of scientific developments of employees of department are resulted in relation to research of desorbing processes in the microstructure of coal matter, wave and vibration action, mathematical design of the linked processes of filtration of methane and change the tensely deformed state of rock and coal massive round the mountain making, physical design of the gas and dynamic phenomena and influencing of human factor on the technological processes of the coal mining.

История создания отдела. История создания отдела управления динамическими проявлениями горного давления начинается с 1967 года. Группа отдела механики горных пород под руководством Зорина А.Н. занималась в этот период исследованиями физико-механических свойств выбросоопасных горных пород, в том числе и реологических. А также изучением напряженно деформированного состояния выбросоопасного породного массива аналитически и в

шахтных условиях, обоснованием целесообразности проходки выработок по выбросоопасным породам комбайном, разработкой методов и средств поддержания горных выработок. Затем была создана лаборатория физико-технических проблем, в которую пришли новые сотрудники – это инженер-механик Колесников В.Г., горный инженер Софийский К.К., инженер-маркшейдер Бобров О.И. Это люди, составившие основной костяк лаборатории, а со временем и отдела – квалифицированные специалисты, способные самостоятельно выполнять научные исследования, ставить и решать актуальные задачи теории и практики. Лаборатория и её научный руководитель Зорин А.Н. в это время целенаправленно занимались динамическими формами проявления горного давления, в частности, выбросами пород, угля и газа.

В 1974 году лаборатория физико-технических проблем преобразуется в отдел управления динамическими проявлениями горного давления.

Отделом внесен определённый вклад в разработанную в институте общую теорию выбросов угля и газа. При изучении выбросов угля и газа пришли к выводу, что надо управлять процессом разрушения, а не противостоять ему. На этом принципе совместно с МакНИИ был теоретически обоснован и разработан способ раздельной выемки породы и угля при проведении подготовительных выработок. Он позволял управлять процессом разгрузки и дегазации угольного пласта. Принципиальное отличие его от существующих способов в том, что исключается полное внедрение в напряжённый угольный пласт. Определены параметры способа, проведено внедрение на шахтах Донбасса. Материалы вошли в нормативные документы. Способ проверен при разработке крутых пластов, получены положительные результаты; экономический эффект составил до 100 руб. на 1 м выработки и главное – существенно повысил безопасность работ.

Наиболее сложно осуществлять противовыбросные мероприятия в лавах. Совместно с МакНИИ отделом предложен и разработан способ выемки угля в лаве комбайном, с предварительным образованием разгружающих щелей по всей её длине. Подготовлено техническое задание на создание такого комбайна. Исследования в струговых лавах позволили приступить к теоретическому обоснованию и определению параметров струговой выемки угля.

С 2002 года отделом руководит д-р техн. наук Кияшко Ю.И. Исследования динамических процессов в массиве при ведении горных работ продолжаются.

Исследование десорбционных процессов в микроструктуре угольного вещества, волновых и вибрационных воздействий на различные среды. Группа проф. Минеева С.П. выполняет исследования по механизму и разработке средств борьбы с газодинамическими явлениями. Наибольший интерес был проявлен к исследованиям десорбционных процессов в микроструктуре угольного вещества, волновых и вибрационных воздействий на различные среды, в том числе на газонасыщенные и выбросоопасные пласты, смерзшиеся и агрегированные сыпучие грузы и пр.

В частности, группой были разработаны научные основы активации и развития десорбции метана при нарушении равновесного состояния углепородного

массива, которые являются определяющими процессами в развязывании газодинамических проявлений горного давления при ведении горных работ, а также обуславливают степень газоотдачи массива в случае промышленной добычи шахтного метана. В рамках этих исследований построена молекулярно-механическая модель микроструктуры угольного вещества. Установлено силовое поле, описывающее молекулярную структуру угля и количественные значения ее параметров. С позиции молекулярной механики и динамики обоснован и исследован механизм сорбционной связи метана, как в микропорах угля, так и в его межпоровом пространстве. Описан конформационный механизм деформирования и выполнена энергетическая оценка конформационных перестроек микроструктуры угля при ее трансформации. В зависимости от изменения микроструктуры угля различной степени метаморфизма исследована кинетика активации десорбционного процесса в угольном пласте. Все этапы механизма активации десорбции метана описаны с точки зрения причинно-следственной связи между микроструктурной трансформацией угля, изменением физического состояния сорбированного метана и развитием в угольном пласте диффузии десорбирующегося метана.

Разработана математическая модель учета влияния волновых и параметрических эффектов на активацию десорбции метана для интенсификации десорбции метана в зависимости от геотермического градиента в углепородном массиве, декремента поглощения волновой энергии и глубины залегания угольного пласта. При этом определена численная зависимость изменения энергии активации десорбции метана при волновом воздействии на углепородный массив от степени метаморфизма угля. Выполнены также расчеты энергии активации диффузии сорбированного метана и коэффициента диффузии в угле различной степени метаморфизма при отсутствии конформационных перестроек в микроструктуре угля и при трансформации микроструктуры угля вследствие волнового воздействия. Установлены зависимости энергии активации и коэффициента диффузии метана, сорбированного в межпоровом пространстве от изменения межслоевого расстояния в микроструктуре угля различной степени метаморфизма. Это позволило установить эффективные параметры волнового воздействия на углепородный массив для активизации десорбции метана и разработать рекомендации по эффективному использованию существующих технических средств для интенсификации газоотдачи массива в зависимости от горно-геологических условий разработки угольных пластов.

Разработана физико-математическая модель диффузии метана, десорбирующегося из микроструктуры угольного пласта с учетом сил межмолекулярного взаимодействия. Установлены закономерности развития диффузии метана в микроструктуре угольного пласта, учитывающие фольмеровскую и твердотельную диффузию, размер и плотность упаковки сорбционных частиц угля. Выполнена оценка степени газоотдачи сорбированного метана в пласте при нарушении его равновесия в зависимости от концентрации метана в фильтрационном пространстве структуры угольного пласта. Установлена взаимосвязь энергии активации десорбции с диффузией и фильтрацией метана. Разработан-

ный алгоритм расчета диффузионных параметров метана в поровом и межпоровом пространстве угля и степени газоотдачи сорбированного метана в пласте при нарушении его равновесия позволяет выполнять оценку максимально возможных объемов метана, выделяющегося из угольного массива при ведении горных работ или при дегазации с установлением десорбционной доли метана в общем объеме газовыделения.

Впервые разработана методология теоретической оценки динамики десорбции метана в зоне опорного давления угольного пласта с учетом его микроструктуры и межмолекулярного взаимодействия метана с углем. При этом разработан алгоритм расчета сорбционных параметров метана и оценки степени его газоотдачи в различных областях зоны опорного давления. Установлено, что изменение параметров опорного давления при ведении горных работ вследствие перераспределения напряжений в призабойной части угля, а также различной сжимаемости пор угля, приводит к накоплению в трещиноватопористой структуре пласта весьма значительных объемов десорбированного метана. На основе методов молекулярной механики и динамики разработана физическая модель оценки состояния сорбированного метана в призабойной области пласта в зависимости от параметров опорного давления. Впервые получены расчетные зависимости, связывающие коэффициенты твердотельной и фольмеровской диффузии метана в угле с протяженностью восходящей и ниспадающей ветви эпюры опорного давления, скоростью подвигания забоя и диаметром микропор, которые дают возможность проводить оценку объемов и скорости выделения сорбированного метана при обработке угольного пласта.

Впервые установлены количественные закономерности изменения твердотельной диффузии метана в зоне опорного давления при различной скорости подвигания забоя, протяженности восходящей и нисходящей ветвей опорного давления. Установлена протяженность восходящей ветви эпюры опорного давления, при которой коэффициент твердотельной диффузии перестает зависеть от ее величины и значение скорости подвигания забоя, при которой коэффициент твердотельной диффузии метана в угле снижается до своего предельного минимального значения. Установлено, что значение скорости подвигания забоя, при которой коэффициент твердотельной диффузии метана в угле снижается до своего минимального значения составляет более 18 м/сут, а коэффициент фольмеровской диффузии достигает своего максимального значения в максимуме опорного давления, когда в ней имеется область дезинтеграции угля. Совпадение этих факторов может привести к высокой степени газодинамической опасности угольных пластов при ведении горных работ. Эти закономерности позволили разработать рекомендации по десорбционной оценке газодинамической безопасности ведения горных работ на угольных пластах, которые включены в нормативные документы.

Были обобщены результаты моделирования процесса смерзания-оттаивания насыщенной водой угольной массы с учетом фазового перехода вода-лед. Проведен ряд лабораторных экспериментов по определению свойств смерзшейся водонасыщенной углепородной массы. Разработана математическая модель и

получены результаты численных расчетов термодинамических характеристик термического восстановления сыпучести смерзшейся углепородной водонасыщенной массы. Выполнено обоснование методов и средств контроля смерзшегося угля. Разработаны рекомендации по проведению мониторинга термодинамических характеристик железнодорожного вагона с углем в линии “поставщик-потребитель”, что позволяет существенно сократить процесс разгрузки железнодорожных вагонов.

Проведен анализ результатов исследований процессов, которые имеют место в смерзшихся водонасыщенных геоматериалах под действием силовых и температурных полей. Выполнена оценка эффективности методов и средств дезинтегрирования смерзшихся водонасыщенных сред при помощи температурных полей. Сформирована базовая система исходных данных для математической компьютерной модели упругопластического деформирования породного массива вокруг горной выработки и движения жидкости в нем с учетом температуры, что позволяет проводить разноплановые вычислительные эксперименты для установления геомеханических и фильтрационных зависимостей, характеристики водонасыщенных пород и грунтов при низких температурах.

Обобщены результаты моделирования смерзания-оттаивания образцов углепородной массы с учетом фазового перехода, в частности, восстановления сыпучести смерзшейся массы вблизи стенки вагона и определены ее физико-механические свойства. Эти исследования позволили обосновать прогрессивные технические решения по эффективному восстановлению сыпучести смерзшихся геоматериалов вибротермическим способом и разработать рекомендации по выполнению мероприятий при разгрузке-перегрузке смерзшихся сыпучих грузов (угля, руды и др.) в железнодорожных полувагонах. Кроме того, была разработана и внедрена стационарная виброрыхлительная установка для повышения эффективности разгрузки смерзшихся углей из железнодорожных полувагонов в зимнее время, которая используется на ряде предприятий Украины и СНГ.

В целом, по результатам выполненных исследований опубликован ряд работ, включающих около 80 патентов и авторских свидетельств, более 25 брошюр, технологических альбомов и монографий. Были разработаны несколько нормативных способов снижения выбросоопасности при ведении горных работ и прогноза выбросоопасности, а также приняла участие в разработке трех «Альбомов технологических схем безопасной отработки выбросоопасных угольных пластов». Профессор Минеев С.П. является членом Бюро Центральной комиссии по вопросам вентиляции, дегазации и борьбы с газодинамическими явлениями на угольных шахтах Украины, а также автором и членом редколлегией ряда отраслевых стандартов Украины, в том числе, основного по регламентации безопасной отработки выбросоопасных пластов – «Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: Стандарт Мінвуглепрому України: Видання офіційне СОУ 10.1.00174088-2005».

Под руководством заведующего отделом д-ра техн. наук Кияшко Ю.И. проводятся работы по математическому и физическому моделированию динамиче-

ских процессов при проходке подготовительных выработок и при осуществлении добычных работ.

Математическое моделирование связанных процессов фильтрации метана и изменения поля напряжений в зоне ведения горных работ, газодинамических явлений. С 2003 г. по 2011 г. в рамках госбюджетных тем «Механика горных пород, техника и технологии безопасной добычи угля высоконагруженными лавами» и «Механика газонасыщенного массива горных пород, прогрессивные технико-технологические решения подземной добычи угля» выполнены исследования взаимосвязи геомеханики образования области фильтрации метана в слоистом газонасыщенном массиве вокруг выработок выемочного участка и параметрами процесса фильтрации метана в атмосферу выработок.

В результате выполнения работы усовершенствована модель связи между компонентами тензора напряжений и коэффициентами проницаемости горного массива, которая базируется на экспериментальных данных и теоретических обобщениях и отличается от известных тем, что позволяет учесть тот факт, что проницаемость горных пород возрастает только в том случае, когда их деформирование происходит с увеличением объема. В частности, учитываются различия, возникающие при разнокомпонентном и равнокомпонентном нагружении, при различных видах напряженного состояния.

Впервые установлен критерий формирования области фильтрации в подработанном углепородном массиве, позволяющий ограничить область горного массива, подлежащую детальному исследованию, и определить геометрические параметры источников выделения метана в кровле и почве;

Впервые разработан метод расчета параметров фильтрации метана в нарушенном массиве горных пород, который дает достоверные результаты, совпадающие качественно и количественно с известными теоретическими и практическими данными. Разработанный метод представляет собой средство для многопланового исследования процессов нестационарной фильтрации в нарушенном массиве горных пород с наличием (или без) системы дегазационных скважин. Впервые установлены численные закономерности изменения фильтрационных параметров в зависимости от степени разгрузки газоносных пород кровли от горного давления и скорости подвигания очистного забоя

Основные научные и практические результаты работы можно сформулировать следующим образом. Определен критерий формирования области фильтрации и связи между параметрами напряженного состояния горного массива и фильтрацией газа в нем; разработан метод расчета параметров процесса фильтрации метана в нарушенном массиве горных пород в зависимости от его напряженно-деформированного состояния; определены закономерности изменения фильтрационных параметров в зависимости от степени разгрузки газоносных пород кровли от горного давления и скорости подвигания очистного забоя.

В результате изучения зависимости изменения параметров фильтрации метана от разгрузки пород от горного давления показано, что многократное увеличение газовыделения и значительный рост скоростей фильтрации метана в

подрабатываемых угольных пластах и слоях песчаника происходит в случае, когда коэффициент разгрузки $K_{\text{разгр}}$ превышает критическое значение 0,65. При этом газовыделение из подрабатываемых пластов и скорость фильтрации метана определяются функциями показательного и гиперболического вида от $K_{\text{разгр}}$, и при изменении его значений от 0,65 до 0,9 газовыделение из породного слоя увеличивается в 10 раз, средняя скорость – в 4 раза, максимальная – в 27 раз.

Разработанный метод расчета параметров процесса фильтрации метана в нарушенном углепородном массиве с учетом его напряженного состояния и обоснованные зависимости фильтрационных параметров от геомеханических и технологических параметров, могут быть использованы для определения рациональных параметров системы дегазационных скважин в зоне влияния очистной выработки. Повышение эффективности дегазации позволяет получить значительный социальный эффект: улучшить безопасность работ шахтеров в очистных забоях, увеличить качество и количество капируемого метана и уменьшить загрязнение атмосферы.

Разработана «Методика определения фильтрационных параметров горного массива и выбора оптимального направления бурения дегазационных скважин в зоне влияния действующей лавы», учитывающая влияние геомеханических параметров подрабатываемого горного массива на геометрию области фильтрации и проницаемость составляющих ее горных пород; влияние разнообразия физико-механических свойств слоистого горного массива (прочностные характеристики, газоносность, форма содержания метана в породе и т.д.) на формирование полей давления метана, скоростей его движения и расходов. Экономический эффект при внедрении разработанной методики состоит в значительном повышении нагрузки на очистной забой том за счет нормализации шахтной атмосферы. Социальный эффект состоит в уменьшении уровня аварийности и производственного травматизма при добычных работах, увеличении качества и количества капируемого метана, уменьшении загрязнения атмосферы.

Основные выводы и результаты, полученные за этот период состоят в следующем.

Фактический дебит метана в очистной выработке при высоких темпах добычи угля существенно отличается от рассчитанного по нормативной методике, базирующейся на эмпирических зависимостях, которые получены в лавах со скоростями подвигания менее 6 м/сут. Это различие увеличивается с ростом темпа добычи угля. При добыче до 500 т/сут дебиты практически совпадают. С увеличением нагрузки до 4000 т/сут и более фактический дебит составляет около 30% от расчетного. При увеличении среднесуточной добычи с 470 до 4180 т/сут удельный дебит метана $Q_{\text{уд}}$ на очистном участке уменьшается в 3 раза.

С увеличением скорости подвигания лавы размеры области фильтрации вблизи очистной выработки сокращаются, передняя граница области фильтрации подвигается ближе к линии очистного забоя, источники газовыделения, более удаленные от разрабатываемого угольного пласта, полностью или частично выходят за пределы области фильтрации. Значения коэффициентов проницаемости внутри нее понижаются. При увеличении скорости подвигания область

пониженного давления, из которой метан частично уже переместился в атмосферу выработок выемочного участка, уменьшается, снижаются скорости его десорбции и фильтрации в подрабатываемых породах, и, как следствие, сокращается количество метана, поступающее в очистной забой.

При увеличении скорости подвигания очистного забоя остаточное давление метана в подрабатываемых газоносных породах повышается вплоть до значения пластового давления в нетронутом массиве в верхних слоях области фильтрации. Это говорит о том, что при высокой скорости подвигания лавы метан из них практически не поступает в очистную выработку. Повышение давления при увеличении скорости подвигания лавы приводит к замедлению процесса десорбции метана из подрабатываемых угольных пропластков.

Увеличение скорости подвигания фронта очистных работ с 3 до 9 м/сут влечет за собой уменьшение объема области фильтрации на 46,6 %; газовыделения из подрабатываемых угольных пропластков и газоносных песчаников на 17,4 %; притока метана в очистной забой из кровли очистной выработки на 38,2 %.

При разрушении углепородного массива в кровле лавы, которая движется со скоростью, превышающей 3-6 м/сут, происходит увеличение длины породной консоли, нависающей над выработанным пространством. Это приводит к замедлению процесса трещинообразования в породах кровли, увеличению крупноблочности разрушения, уменьшению размеров области фильтрации вблизи очистного забоя и значений коэффициентов проницаемости внутри нее. Уменьшение проницаемости, в свою очередь, вызывает повышение давления метана в трещинно-поровом пространстве области фильтрации и замедление как процессов десорбции из подрабатываемых газоносных песчаников и угольных пропластков, так и фильтрации метана из источников метановыделения в очистной забой.

При подработке угольного пласта со скоростью 3 м/сут давление метана в нем падает на 45%. Увеличение скорости подработки приводит к увеличению остаточного давления метана в угольном пропластке. Также показано, что при увеличении скорости подвигания лавы с 3 до 9 м/сут происходит уменьшение степени дегазации подрабатываемых угольных пропластков с 48 до 16 %, т.е. в 3 раза. Степень дегазации пласта D находится в зависимости степенного вида от коэффициента разгрузки $K_{разгр}$, и гиперболически уменьшается с ростом скорости подвигания лавы, причем с увеличением $K_{разгр}$ этого пласта от 0,6 до 0,87 возрастает на 60 %.

Показано, что остановка очистного забоя приводит к резкому перераспределению значений минимальной компоненты тензора напряжений, характеризующей возможность возникновения хрупких деформаций, вокруг выработки впервые 40-60 мин; повышению разнокомпонентности вмещающих пород, увеличению их проницаемости, интенсификации фильтрационных процессов в окрестности выработки в течение всего расчетного времени, постепенной дегазации вмещающих пород. За 70 мин массив дегазируется на глубину до 60 см.

Характер газовыделения из образцов угля при сжатии до 278МПа соответствовал закону Дарси с присущим ему пиком газовыделения. Поэтому во время разгрузки в интервале напряжений 278-119МПа дебит снижался, но в интервале 119-0МПа скорость газовыделения начала возрастать. Это указывает на то, что проницаемость угля снижалась в интервале напряжений 278-194МПа, при 194-113МПа оставалась без изменений, а в интервале 119-0МПа увеличивалась вплоть до восстановления уровня, наблюдавшегося в начале разгрузки. С увеличением удельной мощности диссипации, предшествующей разрушению (для $n=0,5$) интенсивность увеличения дебита газовыделения снижается, что объясняется увеличением нарушенности предельно напряженно угля и как следствие происходит заштыбовка магистральных трещин краевой части образца. С учетом того, что разрушение угля начинается от малого к большому затрачиванию энергии на разрушение, то при начальном этапе разрушения ($n=0,3$) происходит активизация десорбции (уменьшение ширины сигнала и увеличение концентрации парамагнитных центров), затем при $n=0,4$ происходит восстановление интенсивности сигнала в зоне динамического разрушения и при $n=0,5$ происходит вынос тонкодисперсных фракций и их естественная дегазация, а также активизация десорбции из зон 4,5 для $n=0,3$ и 0,5 – за счет этого происходит существенное увеличение десорбции газа при динамической разгрузке предельно напряженного угля перед и во время динамического разрушения.

Активизация десорбции метана, в первую очередь, определяется сорбционным взаимодействием в системе метан-уголь. Связь между метаном и углем имеет характер, преимущественно, физического взаимодействия дисперсионного типа, которые описывают ван-дер-ваальсовы силы. Причем сорбционная связь молекул метана с поверхностью микропор имеет колебательный характер. Собственные частоты этих колебаний уменьшаются с увеличением диаметра микропор и имеют весьма большие значения – порядка 10-100 ГГц. Интенсификацию газоотдачи массива за счет активации десорбции метана наиболее рационально реализовывать на основе использования технологического воздействия в нерезонансном режиме усталостного деформирования угольного пласта посредством циклически изменяющихся во времени, в особенности, знакопеременных напряжений. При этом наиболее эффективным будет вибрационное воздействие, которое путем индуцирования релаксационных процессов в молекулярной структуре угольного вещества позволяет достигать высоких значений энергетических барьеров активации конформационных переходов в структуре угля, за счет чего резко активизируется процесс десорбции метана при дегазации массива.

По результатам теоретических исследований, подтвержденных практикой-эксплуатации, зарегистрировано научное открытие № 411: «явление снижения дебита метана в очистную выработку из продуктивного угленосного массива при интенсивной отработке пологих угольных пластов, заключающееся в том, что при подвигании лавы более 6 м/сут замедляются процессы десорбции метана и фильтрации его в атмосферу очистной выработки, обусловленное крупно-

блочностью разрушения углепородного массива, уменьшением размеров области фильтрации и проницаемости внутри нее».

В настоящее время эта работа развивается в направлении исследования методами математического и физического моделирования нестационарных и динамических процессов, происходящих в слоистом газонасыщенном массиве при ведении различных горных работ.

Физическое моделирование динамического разрушения предельно напряженных образцов угля при разгрузке. В 2007 году сотрудник отдела Дякун Р.А. получил Грант Президента Украины для одаренной молодежи. Это позволило продолжить работы по изучению в лабораторных условиях особенностей процесса динамического разрушения предельно напряженного угля при разгрузке.



Рис.1 – Персонал лабораторного комплекса для проведения экспериментов – слева направо: м.н.с. Светличный В.Н.; техник 1 категории Рудь В.П.; м.н.с. Дякун Р.А.

Был разработан и в последующем реализован проект модернизации гидравлического пресса типа П-50 для получения данных о параметрах динамического разрушения предельно напряженного угля совместно с акустоэмиссионными данными и свода всех данных о параметрах разрушения на персональный компьютер. Для получения данных по изменению дебита газовыделения из предельно напряженного угля при стационарном и нестационарном изменении его напряженного состояния был изготовлен стенд, предназначенный для длительного газонасыщения образцов горных пород и снятия показаний расхода газа из горных пород при различных физико-механических воздействиях на них. Лабо-

раторный комплекс представлен на рис. 1. С 2007 по 2012 годы с использованием лабораторного комплекса были получены следующие результаты.

Для угля пласта m_3 , отобранного в условиях шахты им. А.Ф. Засядько с глубины 1200 м, находящегося в предельно напряженном состоянии основным фактором инициирования динамического разрушения до уровня тонкодисперсных фракций является волна разгрузки. Математическим моделированием выявлены области и их геометрические параметры в объеме образца, что характеризуются наибольшим значением градиента напряжения при разгрузке, и наибольшей вероятностью проявления в них процесса диспергирования угля до уровня тонкодисперсных фракций при его динамическом разрушении во время быстрой разгрузки.

Экспериментально установлено, что при разгрузке угольных образцов происходит формирование тонкодисперсных фракций в зоне наибольшего изменения градиента вертикального напряжения, результатом которого является прорыв этих фракций угля через краевую часть образца с предварительным образованием радиальных трещин, направленных перпендикулярно области тонкодисперсного разрушения. Окончанием процесса динамического разрушения является образование в краевой части вновь образованной границы образца вертикальных шелушек угля.

Методами ЭПР-спектроскопии и электронно-растровой микроскопии показано, что процессы, которые происходят при физическом моделировании динамического разрушения угля до уровня тонкодисперсных фракций, при разгрузке в предельно напряженном состоянии по своей природе подобны процессам, которые происходят при динамических явлениях в угольных пластах.

Обоснованность и достоверность сформулированных выводов и рекомендаций подтверждается статистически значимым объемом лабораторных исследований особенностей образования тонкодисперсных фракций угля при его динамическом разрушении, корректным использованием фундаментальных положений механики твердого деформированного тела и механики горных пород, позитивными результатами внедрения разработанных рекомендаций, модернизации и усовершенствования средств и методов лабораторного исследования динамического разрушения угля с образованием тонкодисперсных фракций с применением современного аналого-цифрового оборудования компании National Instruments и датчиков перемещения компании Balluff.

Результаты работы реализованы в виде «Методики физического моделирования динамического разрушения угля за пределами прочности», которая передана для использования Донецкому научно-исследовательскому угольному институту (Акт передачи от 14.11.2007 г.) и «Методики визначення фізико-механічних властивостей викидонебезпечних порід», передана в ГП «Донгипроуглемаш» (Акт передачи от 17.03.2010 г.).

Расчетный экономический эффект от внедрения проекта модернизации комплекса прессового оборудования, современной аналого-цифровой аппаратурой и средств компьютерной обработки полученных в лабораторных условиях данных, составляет 320,9 тыс. грн. на один комплект оборудования.

Апробация результатов работы. осуществлялась на конференции молодых ученых «Геотехнические проблемы разработки месторождений» (2005, 2007 – 2009 гг., Днепропетровск), на международной конференции «Метан угольных месторождений Украины» (2006, 2008 г., Днепропетровск); международной конференции «Форум горняков» (2007-2009 гг., Днепропетровск), международной конференции «Неделя горняка», (2008г., Москва); XVII - XIX международной научной школе им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках» (2007-2009 гг., Крым, Алушта).

Логическим завершением получения комплекса данных стала защита в 2011 году Дякуном Р. А. кандидатской диссертации. В этом же году он получает Грант НАН Украины для молодых ученых на период с 2011 по 2012 гг. на тему «Физическое моделирование динамического разрушения предельно напряженного угля с образованием тонкодисперсных фракций вблизи тектонического нарушения».

Впервые проведены лабораторные исследования динамического разрушения предельно напряженного угля. Практическое значение полученных результатов заключается в разработке «Методики физического моделирования динамического разрушения предельно напряженного угля вблизи тектонического нарушения с образованием тонкодисперсных фракций», которая может быть использована для разработки способов активного управления горным давлением.

Имитационное моделирование технологических процессов с учетом человеческого фактора. В рамках госбюджетной темы отдела «Имитационные модели технологических процессов подземной угледобычи с учетом свойств горного массива на больших глубинах» решена актуальная научно-прикладная задача обоснования рациональных параметров технологических процессов добычи угля для повышения ее эффективности при разработке тонких пологих пластов, путем комплексной количественной оценки влияния взаимосвязанных параметров на показатели эффективности процессов и работы шахты, которая имеет важное значение для угледобывающей отрасли. Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем.

Разработана имитационная модель технологических процессов добычи угля при разработке тонких пологих пластов, объединяющая процессы выемки угля, проведения подготовительных выработок и транспортирования горной массы к стволу, которая отличается учетом взаимосвязи параметров процессов, их взаимодействия, случайного характера протекания и влияния параметров на качественные и количественные характеристики добываемого угля, и позволяет моделировать работу угольной шахты, разрабатывающей тонкие пологие пласты, как сложной технологической системы, с глубокой детализацией; оценка адекватности модели показала достаточную для инженерных исследований сходимость расчетных данных с фактическими показателями работы шахт, абсолютное отклонение которых не превышает 25 %.

Впервые установлены закономерности изменения комплекса взаимосвязанных параметров технологических процессов и оценено их комплексное влияние

на качественные и количественные характеристики добываемого угля, что позволило выделить факторы, определяющие качество и количество угля, добываемого из тонких пологих пластов. Установлено, что главными параметрами процесса конвейерной транспортировки горной массы, определяющими время работы очистных и проходческих забоев шахты, являются параметры надежности конвейеров, суммарная интенсивность влияния которых возрастает в логарифмической зависимости с увеличением числа последовательно расположенных конвейеров в технологической схеме транспорта шахты. Показано, что эффективность процессов добычи угля в наибольшей степени зависит от параметров, определяющих количество угля, и в меньшей – от параметров, определяющих его качество.

Предложено в качестве критерия оптимизации параметров технологических процессов добычи угля использовать технико-экономический показатель производственной деятельности угольной шахты – доход от реализации товарного угля. Проведены исследования влияния главных факторов технологических процессов на технико-экономический показатель - доход от реализации угля, в результате выявлен комплекс факторов, оказывающих доминирующее влияние на эффективность производственной деятельности шахты. Установлено, что повышение эффективности производственной деятельности угольной шахты на 75 % определяется параметрами разрабатываемых пластов и параметрами выемочных комбайнов, причем при достижении желательных уровней доминирующих параметров эффективность, оцениваемая доходом от реализации товарного угля, возрастает более чем в 4 раза.

Разработаны требования к параметрам технологических процессов добычи угля при разработке тонких пологих пластов и даны рекомендации по выбору рациональных величин на конкретной шахте. Выделены основные закономерности, определяющие повышение эффективности работы угольной шахты, разрабатывающей тонкие пологие пласты.

Изложены технико-экономические перспективы применения технологии обогащения угля в условиях поверхностного комплекса шахты, как наиболее рационального способа снижения отрицательного влияния параметров, определяющих зольность добываемого из тонких пологих пластов угля. Показана целесообразность применения данной технологии и ее экономическая эффективность при обогащении угля, добываемого шахтами Западного Донбасса.

В результате исследований, проведенных в работе, разработана научно обоснованная инженерная методика расчета и выбора рациональных параметров технологических процессов добычи угля при разработке тонких пологих пластов. Методика внедрена на шахтах ГХК «Павлоградуголь»: для ГОАО «Шахта Юбилейная» фактический экономический эффект от внедрения методики составил 45 тыс. грн, ожидаемый экономический эффект составил 194 тыс. грн; для ГОАО «Шахта Днепровская» ожидаемый экономический эффект составил 854 тыс. грн.

В рамках госбюджетной темы отдела «Оптимизация режимов очистной выемки тонких пологих пластов высоконагруженными лавами с учетом челове-

ского фактора» решена актуальная научно-прикладная проблема установления закономерностей изменения уровня готовности систем “горнорабочие – очистной комплекс” по факторам: предел физических и биомеханических возможностей, уровень информированности об опасности, специализация в выполнении приемов и управлении звеном горнорабочих, и разработки на этой основе методов повышения готовности систем “горнорабочие – очистной комплекс” к безопасной угледобыче, которая имеет важное народнохозяйственное и социальное значение в области охраны труда, для снижения уровня аварийности и травматизма на угольных шахтах.

Впервые разработаны математические модели систем угледобычи “машинист – выемочный комбайн (струг)”, “горнорабочие – очистной комплекс”, “бригадир (диспетчер) – звено горнорабочих”, “руководство шахты – группа высоконагруженных лав” с комплексным учетом биомеханических, психофизических параметров, возраста, квалификации, навыков, особенностей личности горнорабочих и параметров процессов угледобычи.

Установлены закономерности комплексного влияния параметров систем “горнорабочие – очистной комплекс” на показатели надежности, производительности и безопасности процессов угледобычи, определены пределы производительности по технике, технологии и по человеческими возможностями, показано, что доминирующее влияние на производительность имеют квалификация, опыт, мотивированность машинистов комбайна и механизированной крепи, в меньшей степени производительность определяется возрастом и физическими кондициями горнорабочих. Показано, что с увеличением количества информации с 10 до 75 бит/с производительность системы “машинист – выемочный комбайн” уменьшается с 0,6 до 0,5 т/мин, а с возрастанием ресурса времени реализации решения с 5 до 15 с, что характеризует повышение уровня развития системы обеспечения безопасности процесса выемки, возрастает 0,6 до 0,85 т/мин. Показано, что время сенсорного периода реакции в среднем в 2-3 раза превышает время моторного периода реакции горнорабочих на визуальную и звуковую информацию.

Проведены экспериментальные исследования биомеханических, психофизических параметров и особенностей личности горнорабочих. Полученные зависимости изменения во времени скорости и энергозатрат горнорабочего при перемещении по лаве носят, соответственно, логарифмический и степенной характер, изменение общих и удельных энергозатрат от скорости подачи носит, соответственно, квадратичный и гиперболический характер. Получение такого рода зависимостей позволяет обоснованно подбирать оптимальные режимы для каждого из горнорабочих и рационализировать ход их работы в зависимости от возраста, величин физических нагрузок и других характеристик. Показано, что всегда больше времени тратится на прием информации, ее переработку, формирование и принятие решения, чем на реализацию рабочего движения, что является одним из ограничивающих производительность очистных комплексов факторов. Показано, что неопределенность исходных данных является основным фактором сложности и неуверенности при принятии технического реше-

ния горнорабочими. В ситуации ограниченного временного параметра технические решения можно рассматривать как оперативные решения, которые представляют собой динамический нестационарный процесс, и каждое решение – это выбор альтернативы, исходя из максимальной полезности в данный момент.

Разработаны критерии оценок готовности основных систем к безопасной угледобыче: критерий экономичности функционирования системы “машинист – выемочный комбайн” является мультипликативной функцией показателей экономичности машиниста и комбайна, интегральный показатель (критерий) надежности системы управления процессом добычи угля – вероятность достижения запланированного объема добычи при обеспечении безопасности работ, который зависит от вероятности безотказной работы, коэффициента готовности нижних звеньев управления; вероятности безошибочной работы текущего звена; вероятности своевременного решения задачи; вероятности исправления ошибочных действий текущим звеном управления.

Получены такие данные:

- готовность к работам в безаварийном режиме коллектива каждого из участков высокопроизводительной шахты определяется объемом производственного опыта, особенностями структуры и динамики отношений в системе “начальники-работники”, а рост готовности к работам в безаварийном режиме определяется положительной динамичностью критерия профессиональной готовности коллектива руководителей, который увеличивается со стажем их работы;

- по результатам профессиональных тренингов установлено, что оперативность действий коллектива каждого из участков работ, которая необходима для обеспечения работ без аварий, напрямую зависит от уровня автоматизма профессиональных действий начальников. Этот уровень вследствие производственной деятельности и постоянных тренингов базируется на однозначности их директив и правильности решений. Правильность решений и директив определяется требовательностью к личным решениям и к выполнению директив подчиненными, бдительностью при анализе ситуаций и жесткостью к нарушениям ПБ, которые достигают рациональных значений в последней трети стажа работы на шахте. То есть надо ускорить повышение профессиональной готовности молодых руководителей участков, в том числе с помощью тренингов;

- готовность руководителя участка к управлению роботами в безаварийном режиме определяется кроме знаний и профессионального опыта, который измеряется стажем работы в должности, еще и личностными характеристиками. Наиболее значимыми из них являются: требовательность к полноте и к качественному выполнению им лично и подчиненными работ, бдительность к сообщениям об угрозе потерь здоровья и участкового имущества и лояльность к нарушителям правил безопасности.

Установлена зависимость между частотой случаев травматизма на протяжении ряда лет работы шахты и критерием профессиональной готовности коллектива руководителей участков к ведению работ в безаварийном режиме, которая имеет обратнопропорциональный характер. Для шахт “Должанская-Капитальная”, “Красный партизан” и “Центросоюз” ГП “Свердловантрацит”

установлено, что с ростом уровней профессиональной готовности руководителей к работам в безаварийном режиме с 1,113 до 1,68 удельное количество травм снижалось соответственно от 14-16 до 4-11 (по данным на конец 2010 года);

- готовность руководителя к действиям в аварийной ситуации определяется наличием у него необходимых и достаточных профессиональных знаний, причем в тех случаях, если этих знаний недостаточно или некоторые являются ошибочными, происходит линейное увеличение общего объема знаний за счет новых, которые получены в процессе тренинга. Если полученные знания не являются для руководителя новыми, то они закрепляются, доводя действия в аварийной ситуации до уровня автоматических. Повышение автоматизма в действиях экспоненциально возрастает от количества тренингов;

- прирост знаний прямо зависит от количества новых, которые поступают от ведущего, экспертов и генерируемых теми, кого тренируют в процессе принятия самостоятельных и коллективных решений, а их соответствие нормативам – от объективности системы оценки, исходя из ее коллективной и экспертной составляющих, заложенных в организационной структуре тренинга;

- количество новых идей в контексте быстрого выхода из аварийной ситуации, которые формируют программы безаварийной работы, линейно зависит от полноты, предметной ориентированности, своевременности, достоверности и детальности информации, и, если традиционные правила не срабатывают, то создаются условия для генерирования нестандартных, но правильных решений по выходу из аварийной ситуации.

Разработаны научно-технические принципы повышения готовности системы “горнорабочие – очистной комплекс” к высокопроизводительной и безопасной работе: научно-обоснованного подбора и расстановки кадров; индивидуального контроля биомеханических характеристик; комплексного учета параметров процесса выемки угля, индивидуальных особенностей горнорабочих; нелинейного управления звеном горнорабочих; автоматизации управления и контроля параметров очистного комбайна из кабины машиниста.

Разработаны методики комплексной оценки надежности и безопасности работы горнорабочих и оптимизации режимов очистной выемки угля и Методические рекомендации по определению готовности горнорабочего и звена трудового коллектива к высокопроизводительной и безопасной работе для применения на этапах подбора кадров, профессионального отбора горнорабочих для управления новой техникой, решения вопросов подготовки, перестановки кадров для повышения производительности работы шахтеров и снижение уровня аварийности и травматизма на угольных шахтах. Разработана “Методика проведения профессиональных тренингов по охране труда и оценки готовности руководителей участков работ угольных шахт к предупреждению аварийных ситуаций”

Методики и методические рекомендации утверждены в Департаменте охраны труда и чрезвычайных ситуаций Министерства угольной промышленности Украины, переданы ГП “Донгипроуглемаш”, рекомендованы для подготовки

практических рекомендаций при разработке отделами ГП “ДонУГИ” технологических схем очистной выемки пологих пластов и схем механизированного крепления комбайновых лав, внедрены в ОАО “Краснодонуголь”, ОАО “Павлоградуголь”. Переданы Межотраслевому центру последипломного образования и кафедре “Охрана труда” ДонГТУ МОН Украины для использования в учебном процессе последипломной подготовки и повышения квалификации работников угольной промышленности и в учебном процессе подготовки студентов. Фактический экономический эффект от внедрения методик и рекомендаций составил 960 тыс. грн, ожидаемый экономический эффект составил более 11 млн. грн в год. “Методика проведения профессиональных тренингов по охране труда и оценки готовности руководителей участков работ угольных шахт к предупреждению аварийных ситуаций” утверждена на отраслевом уровне, внедрена в ГП “Свердловантрацит” с ожидаемым экономическим эффектом 9156,25 тыс. грн в год на одну шахту

Созданные ветеранами отдела научные основы управления динамическими проявлениями горного давления продолжают совершенствоваться. Идёт процесс внедрения полученных результатов в промышленность.

УДК 622.272.3.001.5

Отдел проблем разработки месторождений
на больших глубинах, зав. отделом,
академик НАН Украины А.Ф. Булат

ОТДЕЛ ПРОБЛЕМ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Надана хронологія роботи колективу відділу з моменту створення, охарактеризовані основні напрями його роботи та перспективи подальших досліджень. Основних напрямів роботи шість: наукові основи підтримки підготовчих і капітальних виробок, розробка нових технологій і елементів кріплення підготовчих і капітальних гірничих виробок з використанням нетрадиційних, ресурсозберігаючих та екологічно чистих матеріалів; нові технології дегазації вуглепородного масиву з використанням газозбірної виробки; наукові основи ультразвукової технології формування радіоційно-захистових покриттів; реструктуризація угольної промисловості на базі високоєфективних маневрових теплоенергетических комплексів (МТЭК), орієнтованих на комбіновану виробку тепла і електроенергії; розвиток теорії математичного моделювання процесів провітрювання вугільних шахт у нормальних та аварійних режимах. У подальшому ці дослідження будуть продовжені в напрямку вдосконалення систем дегазації вугільних шахт і використання техногенного метану.

DEPARTMENT OF PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF DEPOSITS ON LARGE DEPTHS: HISTORY OF CREATION AND DIRECTION ACTIVITY

Given chronology of work of collective of department from the moment of creation, described basic his work assignments and prospects of subsequent researches. Basic work assignments six: scientific bases of support of the preparatory and capital making, development of new technologies and elements of fastening of the preparatory and capital mountain making with the use of untraditional, resource – keep and ecologically clean materials; new technologies of degassing of coal - pedigree array with the use of the gas- collapsible making; scientific bases of ultrasonic technology