

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Горный факультет
Кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых»

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

кафедры разработки месторождений полезных ископаемых

№3 (2017)

(Электронное издание)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**по материалам межвузовской научно-практической
конференции молодых ученых, аспирантов и студентов**

г. Донецк, 24-25 мая 2017 г.

Донецк
2017

УДК 622.001.76 (082)

И 66

Инновационные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сб. науч. труд. Вып. 3 / редкол.: Н. Н. Касьян [и др.]. – Донецк, ДонНТУ: 2017. – 305 с.

Представлены материалы научных разработок студентов, аспирантов и молодых ученых, которые обсуждались на межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в рамках проведения третьего международного научного форума ДНР «Инновационные перспективы Донбасса».

Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников угольной промышленности, аспирантов и студентов горных специальностей.

Статьи публикуются в авторской редакции, ответственность за научное качество материала возлагается на авторов.

Конференция проведена на базе ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк) 24-25 мая 2017 г.

Организатор конференции – кафедра разработки месторождений полезных ископаемых Горного факультета ГОУВПО «ДонНТУ».

Организационный комитет:

Касьян Николай Николаевич – председатель конференции, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой РМПИ;

Новиков Александр Олегович – зам. председателя конференции, д-р техн. наук, профессор кафедры РМПИ;

Касьяненко Андрей Леонидович – секретарь конференции, ассистент кафедры РМПИ.

Члены организационного комитета:

Петренко Юрий Анатольевич д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры РМПИ;

Кольчик Евгений Иванович – д-р техн. наук, профессор профессор кафедры РМПИ;

Шестоपालов Иван Николаевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры РМПИ.

УДК 622.817:622.411.33

ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ В УГЛЕ В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО НАГРУЖЕНИЯ И ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ РАЗГРУЗКИ

Хашеватская Н.В., аспирант, Шатохин С.В., инженер, Вишняков А.В., м.н.с., Ожегова Л.Д., ученый секретарь, Вишняк Ю.Ю., м.н.с. (ГУ «ИФГП», г. Донецк)

В результате проведенных исследований установлено, что механизм диффузии водородосодержащих компонент из угля имеет весьма сложный характер, однако несомненно то, что он определяется физическими процессами, которые приводят к возбуждению сверхбыстрых реакций разложения водородосодержащих компонент, в том числе и химически связанной воды, путем перехода механической энергии непосредственно в химическую, что приводит к инициирующему самоускорению и критическим явлениям ГДЯ.

Выделение водородосодержащих компонент из угля имеет многостадийный характер, связанный с наличием различных механизмов диффузии через весьма неоднородную структуру угольного вещества. Время десорбции газа из элементов иерархической структуры угля определяется, в первую очередь, степенью его деструкции. Установление количественных значений энергетических параметров диффузных переходов является главным вопросом исследования и заключается в том, достаточно ли количество водородосодержащих компонент выделяется из угля при импульсном воздействии на него (давление в 600 МПа считается минимальным при взрыве) и последующей высокоскоростной разгрузки, чтобы играть заметную роль в развитии диффузионных процессов системы «уголь-газ»

При описании диффузионных процессов в высокомолекулярных средах, в том числе и в молекулярной структуре угля, в общем случае, коэффициент диффузии определяется температурой и энергией, необходимой для молекулярных перегруппировок – энергией активации. Причем, можно принять, что в большинстве случаев коэффициент диффузии в твердых телах увеличивается с ростом температуры по закону, имеющему вид уравнения Аррениуса [1]:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

где D_0 – частотный множитель (фактор), величина которого зависит от свойств как поглощаемого вещества (газа), так и поглотителя (угля). В данном случае его значения находятся в пределах $10^{-9} - 10^{-14}$ м²/с;

E_a – энергия активации, кДж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, имеет значение $8,314 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$;

T – температура, К.

Для внутримолекулярного процесса диффузии водородосодержащих компонент в угольном веществе, энергия активации E_a , входящая в соотношение (1), соответствует высотам барьеров диффузионных переходов E_a . Следует также учитывать, что диффузионные переходы при внешнем воздействии не могут осуществляться совершенно свободно вследствие межмолекулярного взаимодействия в структуре вещества за счет физических связей различного типа – ван-дер-ваальсовых, водородных, взаимодействий между полярными группами и др. Поэтому диффузия происходит с преодолением потенциального барьера E_a . Высота этого барьера изменяется от тысячных долей до десятков и сотен кДж/моль. Существование потенциальных барьеров E_a между устойчивыми конформациями делает переходы между ними заторможенными. В случае $E_a \gg RT$ эти переходы будут иметь скачкообразный характер благодаря флуктуациям тепловой энергии (рис. 1).

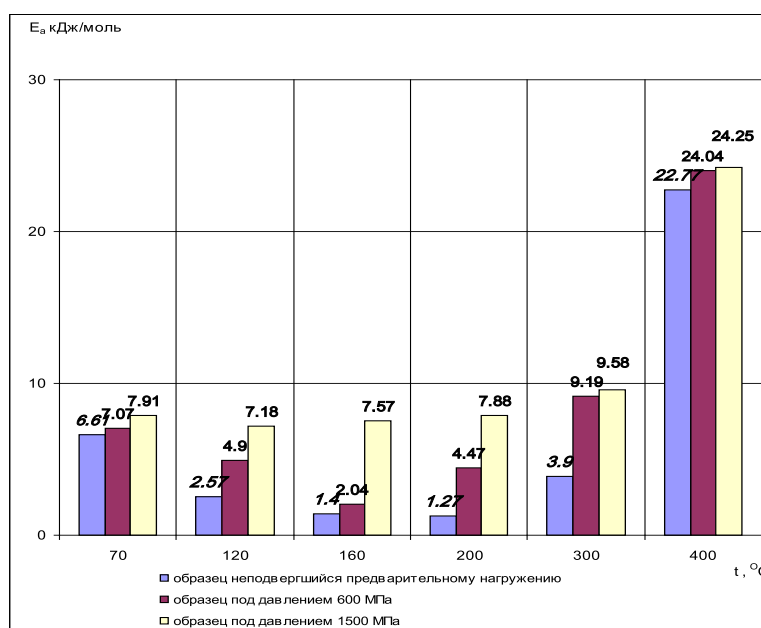


Рис. 1 – Сравнение энергии активации десорбции водородосодержащих компонент угольного вещества в образцах угля марки К пл. h_6^1 ш. Скочинского без нагрузки и подвергшихся предварительному нагружению 600 и 1500 МПа, в зависимости от температуры

Методика исследований основана на динамическом термогравиметрическом анализе (исследовании изменения массы угольного образца без нагрузки и подвергшиеся предварительному нагружению 600 МПа и 1500 МПа, при различных температурах его нагрева) с последующим исследованием линий поглощения спектра на автодинном спектрометре ЯМР H^1 угля содержащего флюид.

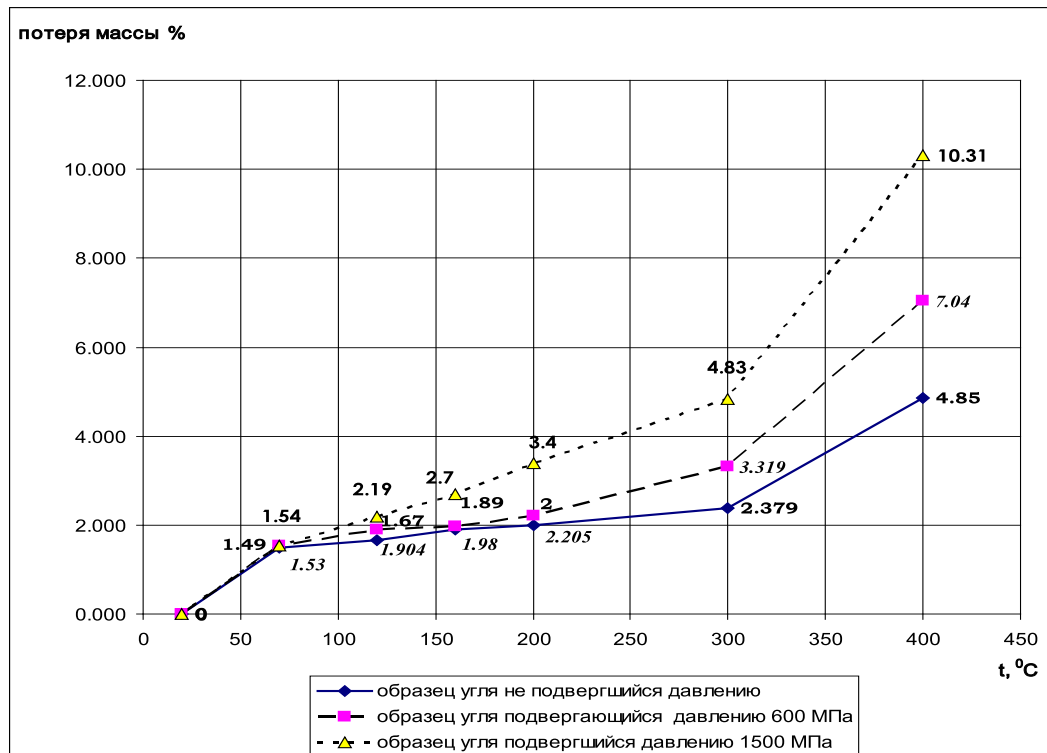


Рис. 2 – Термическое разложение образцов угля марки К пл. h_6^1 ш. Скоринского без нагрузки и подвергшиеся предварительному нагружению 600 и 1500 МПа

Как известно, водород в угольном веществе находится в различных химических образованиях (соединениях) с разной степенью подвижности в них. Разрешающая способность автодинного спектрометра не достаточна для регистраций отдельных спектральных линий водорода во всех возможных формах его существования в угле – это задача для спектроскопии высокого разрешения. Нами в эксперименте регистрируется спектральная линия ЯМР большой ширины (несколько эрстед), являющаяся суперпозицией вкладов от отдельных водородсодержащих групп.

В случае ископаемого угля полный разрешаемый спектр состоит из двух главных компонент – широкой и узкой. В широкую компоненту вносит вклад водород, сосредоточенный в органике угля, отличающийся малой подвижностью, а в узкую – менее связанный, подвижный водород из жидких и газообразных компонент, прежде всего собственно водорода, метана, других летучих углеводородов и воды, сосредоточенных в порах и трещинах исследуемого образца угля, сорбированных на всех поверхностях, а также внедрившихся в структуру угольного вещества по типу твердого раствора, но химически не связанные с ней. Разделить вклады в узкую линию от влаги и метана при исследовании естественного увлажненного угольного вещества без применения специальных методов (например, вымораживание) практически невозможно. Это отдельная важная задача, которая должна решаться с использованием специального оборудования [2].

На записях спектров узкой линии с ростом давления на фоне водородо-содержащей линии начинает прописываться ее умеренная компонента при большом соотношении сигнал/шум.

Исходя из полученных графиков зависимостей потери массы угольной пробы (а так же площади широких линий) от температуры, использовался метод взаимозамещения исследуемых данных, т.к. уменьшение площади узкой и широкой линии спектра ЯМР H^1 пропорционально потере массы угольной пробы. Значения интенсивностей спектров ЯМР H^1 для площадей широких и узких линий угля представлены на рисунках 3 и 4.

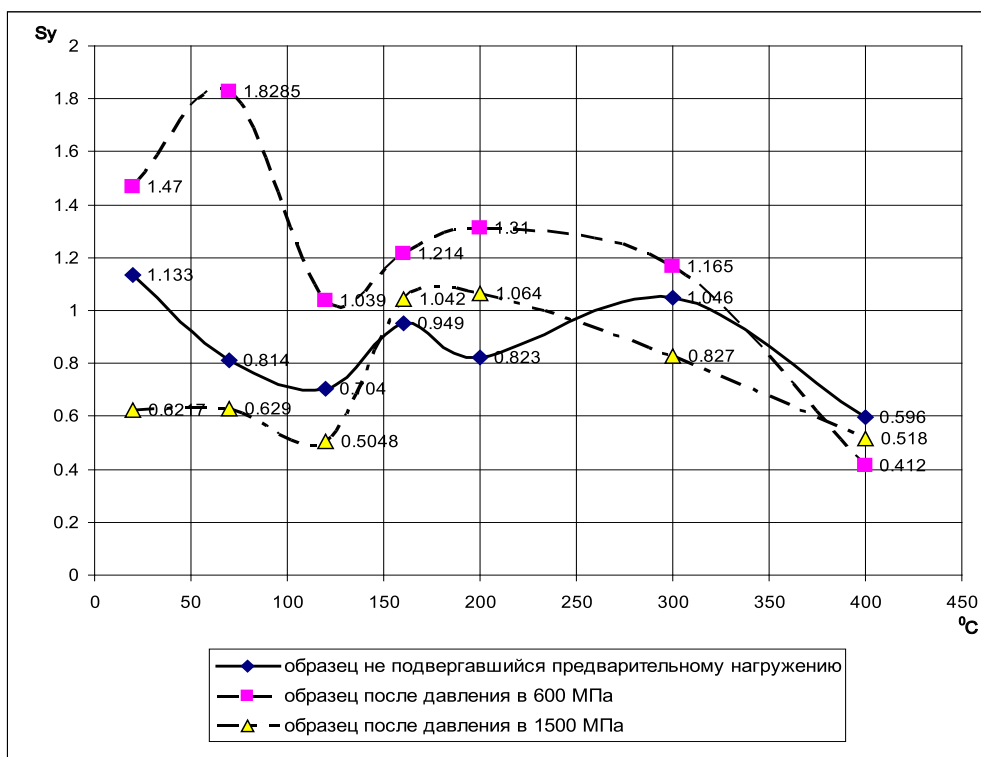


Рис. 3 – Зависимость площади узкой линии спектра ЯМР H^1 от температуры

Как следует из графика 3, при термическом разложении угольного вещества на первой стадии процесса по площади узкой линии спектра ЯМР H^1 наблюдается период постоянной скорости удаления водородосодержащих компонент (область удаления свободной влаги) при температурах 27...120°C.

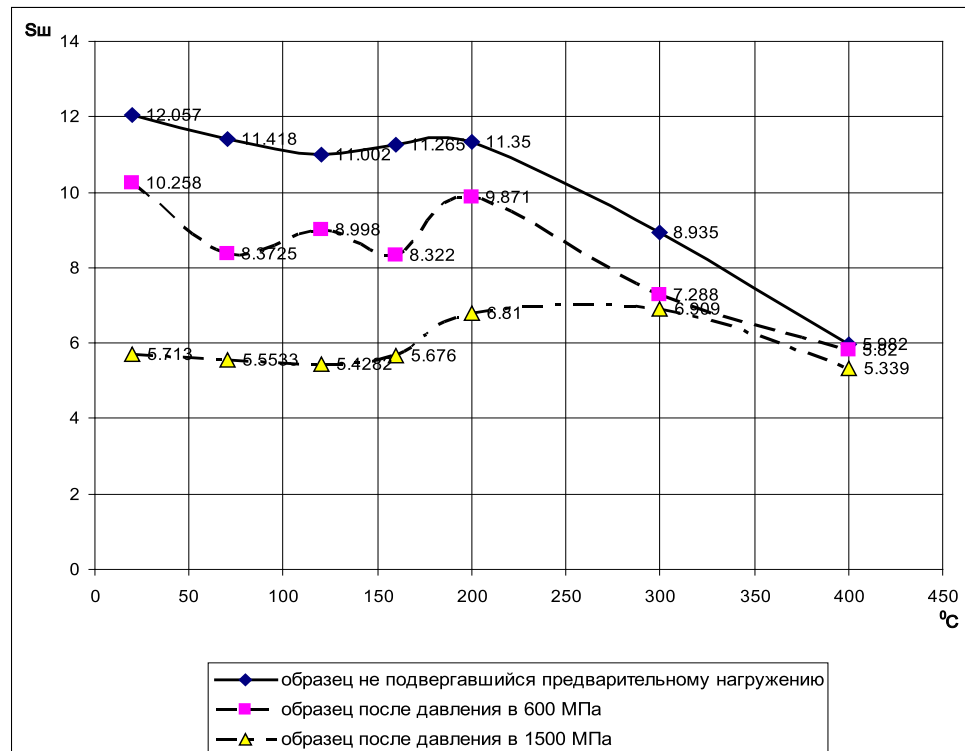


Рис. 4 – Зависимость площади широкой линии спектра ЯМР H^1 от температуры

С повышением температуры уменьшается число межмолекулярных связей, несущих нагрузку при данной частоте приложения деформирующей силы. Увеличение деформирующей нагрузки приводит к тому, что уменьшается число межмолекулярных связей, разрушающихся за время действия силы и, следовательно, не участвующих в распределении нагрузки по объему образца. Возрастание значений деформирующих нагрузок должно приводить к уменьшению времени существования таких связей [3].

Зависимость площади широкой линии спектра ЯМР H^1 от температуры изображенная на графике 4 характеризует второй период термообработки (200-400 °C). Он соответствует твёрдотельной диффузии, поток водородосодержащих газов возрастает с температурой. Причём этот рост или чувствительность к температуре зависят от многих факторов: плотности твёрдого тела (угля), его «рыхлости», подвижности и амплитуды тепловых колебаний молекул, составляющих уголь, длины и формы цепочек органических молекул и др. Характерная особенность твёрдотельной диффузии: при нагреве угля она возрастает в десятки и сотни раз. И чем жёстче структура угля, тем сильнее зависимость диффузионного потока от температуры. Здесь наиболее значительный экзотермический эффект вызван окислением органических веществ и усилен выделением водородосодержащих компонент за счет наложения эндотермического эффекта дегидратации.

Выводы

Проведенные термодинамические расчеты и экспериментальные измерения энергии активации однозначно указывают на то, что при осуществлении процесса термообработки, энергия активации отображается в виде параболы на графике, что в свою очередь позволяет предположить медленное установление десорбционного равновесия на поверхности раздела фаз.

Спектральные линии исследуемых образцов угля показывают уменьшение площади широкой линии спектра ЯМР H^1 под воздействием импульсной нагрузки и последующей высокоскоростной разгрузки, при этом в образцах угля, подвергшимся предварительному нагружению в 600 МПа и 1500 МПа, потеря массы увеличилась соответственно на 40-50% и 100-120%, с незначительным увеличением (в пределах 5%) энергии активации.

Отсюда следует, что в угольном веществе высокоскоростная разгрузка в пределах нескольких сотен МПа/с приводит к возбуждению сверхбыстрых реакций разложения водородосодержащих компонент, в том числе и химически связанной воды, путем перехода механической энергии непосредственно в химическую, что приводит к инициирующему самоускорению и критическим явлениям ГДЯ.

Библиографический список

1. **Эттингер, И. Л.** Растворы метана в угольных пластах // Химия твердого топлива - №4 – 1984. – С. 28–35
2. **Гуль, В. Ё.** Структура и прочность полимеров — 3-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1978. —328 с.
3. **Алексеев, А. Д., Василенко, Т. А., Кириллов, А. К., Молчанов, А. Н., Троицкий, Г. А., Дончук, А. В.** Изменение динамических параметров воды в объеме пор ископаемых углей в зависимости от температуры // Физика и техника высоких давлений. – том 20 - №2 – 2010 – С. 143–151

Оглавление

<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Обоснование технологии перекрепления горных выработок с исключением излишнего выпуска породы	4
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Основные направления и перспективы применения анкерных крепей для обеспечения устойчивости выработок глубоких шахт	11
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Общий анализ состояния и технологических схем ремонта горных выработок шахт ГП «ДУЭК»	20
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Об изучении деформирования массива горных пород в подготовительных выработках с применением анкерного крепления	25
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Основные особенности деформирования породного контура подготовительных выработок с анкерным креплением	28
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Обоснование своевременности применения эффективных способов охраны горных выработок	30
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Состояние и перспективы развития применения рамных конструкций для крепления подготовительных выработок угольных шахт	35
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Обоснование области применения анкерной крепи в подготовительных выработках глубоких шахт Донецко-Макеевского района	42
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научные руководители – Новиков А.О., Шестопалов И.Н.)</i>	
Установление характера деформирования породного массива и аспекты применения пространственно-анкерных систем	45
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научные руководители – Новиков А.О., Шестопалов И.Н.)</i>	
Современные технологии ремонта горных выработок глубоких шахт и перспективы развития данного направления	48

<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научные руководители – Новиков А.О., Шестопалов И.Н.)</i>	
Комбинированные геотехнологии как перспективный метод комплексного освоения недр	56
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научные руководители – Новиков А.О., Шестопалов И.Н.)</i>	
Возможность комплексного освоения подземного пространства и использования подземных выработок во вторичных целях	59
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научные руководители – Соловьев Г.И., Касьяненко А.Л., Нефедов В.Е.)</i>	
О полевой подготовке конвейерного штрека в условиях шахты им. Е. Т. Абакумова	62
<i>Агарков А.В., Муляр Р.С. (научный руководитель – Костюк И.С.)</i>	
Роль управления производственными процессами при выборе способа охраны горных выработок угольных шахт	67
<i>Бабак Б.Н. (научный руководитель – Костюк И.С.)</i>	
Изучение и обобщение основных понятий процесса ресурсобеспечения горных предприятий и выявление взаимосвязи между ними.....	73
<i>Белюсов В.А. (научные руководители – Выговский Д.Д., Выговская Д.Д.)</i>	
Исходная информация к проектированию угольных шахт	81
<i>Гаврилов Д.И. (научный руководитель – Соловьев Г.И.)</i>	
Комбинированный способ охраны конвейерного штрека в условиях ПАО «Шахтоуправление «Покровское».....	85
<i>Гармаш А.В., Шмырко Е.О. (АФГТ ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В. Даля»)</i>	
Эффективные методы экономии электроэнергии на угольных шахтах	95
<i>Геков А.Ю., Краснов Д.С. (научный руководитель – Стрельников В.И.)</i>	
Экономико-математическое моделирование технологии разработки выемочной ступени.....	101
<i>Гнидаш М.Е. (научный руководитель – Соловьев Г.И.)</i>	
О продольно-жестком усилении основной крепи подготовительных выработок глубоких шахт	113
<i>Гончар М.Ю., Мошин Д.Н. (научные руководители – Выговская Д.Д., Выговский Д.Д.)</i>	
Подходы к выбору рациональной технологии ведения очистных работ	119
<i>Донских В.В. (научный руководитель – Касьяненко А.Л.)</i>	
Анализ состава пород почвы горных выработок на шахтах Донецкого бассейна	124

<i>Дрох В.В., Марюшенков А.В. (научные руководители – Ворхлик И.Г., Выговский Д.Д.)</i>	
Меры по уменьшению величин смещения боковых пород в участковых подготовительных выработках	130
<i>Елистратов В.А. (научный руководитель – Гомаль И.И.)</i>	
Опыт использования шахтных вод.....	137
<i>Золотухин Д.Е. (научный руководитель – Гомаль И.И.)</i>	
Способы утилизации шахтного метана	147
<i>Иващенко Д.С. (научные руководители – Соловьев Г.И., Голембиевский П.П., Нефедов В.Е.)</i>	
Особенности охраны подготовительных выработок глубоких шахт породными полосами	160
<i>Капуста В.И. (научные руководители – Костюк И.С., Фомичев В.И.)</i>	
Совершенствование технологии крепления вентиляционной и углеспускной печей при выемке угля щитовыми агрегатами	167
<i>Капуста В.И. (научный руководитель – Фомичев В.И.)</i>	
Локальные способы предотвращения выбросов угля и газа	175
<i>Квич А.В. (научный руководитель – Фомичев В.И.)</i>	
Опыт применения щитовых агрегатов на шахтах центрального района Донбасса ..	180
<i>Лежава Д.И. (научный руководитель – Дрипан П.С.)</i>	
Исследование способа закрепления анкера.....	185
<i>Лиманский А.В. (научный руководитель – Дрипан П.С.)</i>	
Лабораторные испытания ресурсосберегающего способа закрепления анкера	187
<i>Муляр Р.С., Агарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Исследование влияния излишнего выпуска породы при ремонте выработки на ее последующую устойчивость	190
<i>Муляр Р.С., Агарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Повышение устойчивости пород почвы горных выработок глубоких шахт на примере шахты имени В.М. Бажанова ГП «Макеевуголь»	199
<i>Муляр Р.С., Агарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Механизм потери устойчивости горных выработок	202

<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Способы управления состоянием массива горных пород, вмещающих выработки шахт Донбасса.....	207
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Комплекс эффективных мероприятий по повышению устойчивости подготовительных выработок и особенности их деформирования на шахте «Степная» ПАО «ДТЭК «Павлоградуголь»	217
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Контроль и изучение деформационных процессов кровли монтажных камер, закрепленных анкерной крепью	224
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Исследование существующих технологических решений, которые направлены на повышение устойчивости крепи в подготовительных выработках угольных шахт ...	228
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Контроль и изучение деформирования породного контура монтажных ходков, закрепленных комбинированной крепью	234
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научный руководитель – Новиков А.О.)</i>	
Определение схемы позиционирования анкеров в зоне неупругих деформаций	239
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научные руководители – Новиков А.О., Шестопалов И.Н.)</i>	
Особенности влияния угла залегания пород и глубины заложения анкеров на устойчивость горных выработок шахт Донбасса.....	242
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научные руководители – Новиков А.О., Шестопалов И.Н.)</i>	
Перспективы внедрения технологий извлечения метана из угольных пластов и его последующее использование.....	245
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научные руководители – Новиков А.О., Шестопалов И.Н.)</i>	
Повышение эффективности альтернативного использования подземного пространства закрываемых шахт центрального района Донбасса, отработывающих крутопадающие пласты.....	248
<i>Муляр Р.С., Азарков А.В. (научный руководитель – Соловьев Г.И.)</i>	
Особенности поддержания конвейерных штреков при сплошной системе разработки в условиях шахты «Коммунарская».....	250

<i>Муляр Р.С., Агарков А.В. (научный руководитель – Костюк И.С.)</i>	
Управление внедрением нового способа охраны горных выработок угольных шахт с помощью методики Swim lane	257
<i>Нескреба Д.А., Поляков П.И. (ГУ «ИФГП» г. Донецк)</i>	
Экспериментальная наработка разрушения слоистой структуры горного массива с использованием эквивалентных материалов	264
<i>Панин Ф.В. (научный руководитель – Соловьев Г.И.)</i>	
Особенности поддержания конвейерных штреков при сплошной системе разработки на шахте им А. А. Скочинского.....	266
<i>Посохов Е.В. («ВТС Ровенькиантрацит» г. Ровеньки, ЛНР)</i>	
Определение и локализация вредных факторов, влияющих на состояние выемочных выработок, охраняемых угольными целиками.....	271
<i>Рыжикова О.А. (АФГТ ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В. Даля»),</i>	
<i>Должикова Л.П. (ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»)</i>	
Ликвидация прорыва грунтовой дамбы хвостохранилищ	283
<i>Степаненко Д.Ю. (научный руководитель – Дрипан П.С.)</i>	
Исследование результатов лабораторных исследований способа закрепления анкера методом прессовой посадки	287
<i>Хащеватская Н.В., Шатохин С.В., Вишняков А.В., Ожегова Л.Д., Вишняк Ю.Ю.</i>	
<i>(ГУ «ИФГП», г. Донецк)</i>	
Диффузионные процессы водородосодержащих компонентов в угле в условиях импульсного нагружения и высокоскоростной разгрузки.....	290
<i>Шаповал В.А. (научный руководитель – Дрипан П.С.)</i>	
Значение своевременного обнаружения пожара в подземных горных выработках	296
<i>Якубовский С.С. (научный руководитель – Дрипан П.С.)</i>	
Предупреждение самовозгорания угля с помощью применения антипирогенов	298

Сборник научных трудов
кафедры разработки месторождений
полезных ископаемых

«Инновационные технологии разработки
месторождений полезных ископаемых»

№ 3 (2017)

(Электронное издание)

Статьи в сборнике представлены в редакции авторов