

На правах рукописи



Нургалиев Евгений Илдарович

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
ИЗОЛЯЦИИ ПЛАСТОВЫХ ВЫРАБОТОК
БЕЗВРУБОВЫМИ МОНОЛИТНЫМИ ПЕРЕМЫЧКАМИ
С ОДНОВРЕМЕННЫМ ВОЗВЕДЕНИЕМ
ТАМПОНАЖНЫХ ЗАВЕС**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Кемерово 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН)

Научный руководитель: Майоров Александр Евгеньевич
доктор технических наук, профессор РАН,
заведующий лабораторией геомеханики и
геометризации угольных месторождений
ФИЦ УУХ СО РАН

Официальные
оппоненты: Попов Валерий Борисович
доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией горноспасательного
дела АО «Научно-исследовательский институт
горноспасательного дела»

Палеев Дмитрий Юрьевич
доктор технических наук,
начальник научно-исследовательского
отдела ФГКУ ДПО «Национальный аэромобиль-
ный спасательный учебно-тренировочный центр
подготовки горноспасателей и шахтеров»
МЧС России

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образова-
ния «Национальный исследовательский техноло-
гический университет «МИСиС»

Защита состоится 22.01.2021 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28. Тел.: (3842) 39-63-36. E-mail: rector@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте <http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/>

Автореферат разослан 12 ноября 2020 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



М.А. Тюленев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Основным современным регламентированным технологическим приёмом локализации и изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств от действующих, является опалубочное возведение изолирующих безврубных монолитных перемычек из специализированных смесей на основе цемента (ИП), обладающих необходимой прочностью, термо- и теплостойкостью, негорючестью. Только в угольных шахтах Кузбасса ежегодно возводят и эксплуатируют более 1 тыс. указанных изолирующих сооружений, непосредственно влияющих на состояние общешахтной атмосферы, долю кислорода, монооксида углерода и метана в выработанном пространстве, эндогенную пожароопасность, общую безопасность и эффективность ведения горных работ. Современные технологии и регламенты угледобычи требуют повышения количества изолирующих сооружений. Основной объем ИП возводится именно в пластовых выработках (штреки, сбойки и т.д.). При этом, условия эксплуатации ИП осложнены наличием вмещающего угольного пласта с сильно нарушенной приконтурной зоной, что предъявляет особые требования к используемым технологиям изоляции, конструкциям и материалам.

Главной не решенной до настоящего времени проблемой является отсутствие полноценной герметичности и управляемой консолидации тела ИП с трещиноватым вмещающим углепородным массивом пластовых выработок. При этом, известные решения по технологии изоляции выработок и тампонажу приконтурной зоны реализованы обособленно, а используемые материалы не унифицированы, что, в общем, снижает качество изолирующих сооружений, повышает трудоёмкость и стоимость работ. Также, известный опыт изоляции, применительно к пластовым выработкам, не учитывает: локальные нормативные требования; особенности нарушенной структуры вмещающего углепородного массива и режимы фильтрации специализированных цементных смесей; необходимую рациональную геометрию окружающей тампонажной завесы (минимум распространения вдоль горной выработки при максимуме ширины); необходимость применения новых составов из импортозамещающих совмещаемых материалов с заданными реологическими и физико-механическими характеристиками для возведения тела перемычки и тампонажной завесы; необходимость унификации и объединения во времени технологических операций с учетом эксплуатационной специфики ИП в современных условиях и требованиях к воздушной среде подземного пространства. Отсутствуют технологии комплексной интеграции изолирующего сооружения в нарушенную приконтурную зону и его консолидацию с вмещающим углепородным массивом.

Очевидно, что опалубочное возведение изолирующей безврубной монолитной перемычки, технологически увязанное с одновременным управляемым возведением тампонажной упрочняюще-уплотняющей завесы с заданными характеристиками, из смесей на минеральном вяжущем с единым базовым составом, даст эффект повышения скорости и качества изоляции пласто-

вых выработок угольных шахт. При этом, будет обеспечена консолидация тела ИП с трещиноватой приконтурной зоной пластовых выработок.

Работа выполнена по направлениям программ фундаментальных научных исследований ФИЦ УУХ СО РАН в части комплексного освоения и сохранения недр Земли, инновационных процессов разработки месторождений полезных ископаемых; программы СО РАН «Научное и технологическое обеспечение социально-экономического развития Кемеровской области»; в рамках договорных работ научно-производственной компании ООО «УГМ-Сервис» (Упрочнение Горного Массива, Кемерово) с угледобывающими компаниями России (РУК, СУЭК) 2012-2019 гг.

Цель работы: обоснование и разработка технологии изоляции пластовых выработок безврубными монолитными перемычками с одновременным возведением тампонажных завес, обеспечивающей эффективную и безопасную подземную разработку угольных месторождений при ресурсосберегающих строительстве и эксплуатации шахт.

Основная идея работы состоит в совмещении управляемых процессов возведения изолирующей безврубной монолитной перемычки и тампонажа окружающей углепородной зоны смесями на едином минеральном вяжущем, обеспечивающих управляемую консолидацию системы «монолитная перемычка – тампонажная завеса».

Объект исследования: изолирующие перемычки пластовых выработок угольных шахт.

Предмет исследования: технология возведения изолирующих безврубных монолитных перемычек с одновременным тампонажем окружающей углепородной зоны смесями на едином минеральном вяжущем.

Задачи исследований:

- установить зависимости влияния массового водо-твердого соотношения цементных смесей, разработанных для возведения тела безврубной монолитной перемычки и создания тампонажной завесы, на их прочностные и реологические характеристики;
- установить зависимость размера окружающей тампонажной завесы от условий ее возведения, во взаимосвязи с параметрами тела безврубной монолитной перемычки;
- разработать способы изоляции пластовых выработок безврубными монолитными перемычками с одновременным возведением тампонажных завес.

Методы исследований:

- научный анализ и обобщение научно-технической информации в области инъекционного тампонажа массивов горных пород и изоляции горных выработок и выработанных пространств, тоннелей и гидротехнических сооружений, теории фильтрации суспензий, диагностики и контроля технического состояния подземных сооружений – представлены в 1 главе;
- методы разрушающего контроля при определении пределов прочности образцов цементных смесей на одноосное сжатие и изгиб; методы вискозиметрических исследований образцов растворов с построением реологических кривых течения – представлены во 2 главе;

– реометрические методы контроля проницаемости массива пород, основанные на хронометражных наблюдениях и оценке скорости падения давления воздуха в контрольной ёмкости; визуально-измерительные методы контроля состояния возведённых изолирующих перемычек, контура горных выработок и стенок диагностических скважин в прилегающем массиве пород, с проведением инструментальных замеров – представлены в 3 и 4 главах;

– аналитическая обработка результатов экспериментов, численные расчеты на персональном компьютере – представлены во 2-4 главах.

Научные положения, защищаемые автором:

– разработанные на основе отходов ТЭС и металлургических предприятий цементные смеси, в зависимости от их массового водо-твёрдого соотношения от 0,35 до 1,0, обеспечивают нелинейный рост значений предела прочности на одноосное сжатие перемычки до 23,2 МПа и изгиб до 5,8 МПа; при этом, реологические параметры разработанных цементных смесей, в зависимости от их массового водо-твёрдого соотношения в диапазоне от 0,45 до 0,25, характеризуются степенными и линейными реологическими моделями течения, обеспечивая нелинейный рост значений динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 и эффективной динамической вязкости $\mu_{эфф}$;

– при возведении перемычки ширина тампонажной завесы достигает 1,5 м за счет безнапорного заполнения (пропитки) трещин бортов горной выработки раскрытием от 1 до 10 мм, а ширина зоны инъекционного тампонажа прямо пропорциональна глубине инъекционных шпуров и заданному углу их наклона над контуром перемычки с заполнением трещин раскрытием более 0,1 мм.

– эффективная консолидация изоляционной системы «монолитная перемычка – тампонажная завеса» достигается совмещением процессов возведения тела изолирующей монолитной безврубовой перемычки из смесей на едином минеральном вяжущем, проникающих в прилегающий приконтурный углепородный массив, одновременно тампонируемый через веер объединённых коллектором нагнетательных шпуров.

Научная новизна работы заключается в:

– обосновании физико-механических и реологических характеристик разработанных цементных смесей на едином минеральном вяжущем с механо-активированными золо-шлаковыми отходами для новой технологии изоляции пластовых выработок безврубовыми монолитными перемычками с одновременным возведением тампонажных завес;

– обосновании размеров зон пропиточной безнапорной и инъекционной фильтрации по раскрытым трещинам разработанных цементных смесей (нестабильных водо-твёрдых суспензий) с изменяемым водо-твёрдым соотношением, учитывающих их физико-механические, реологические характеристики и геометрию зоны трещиноватости окружающего тело перемычки углепородного массива;

– обосновании совмещённых процессов возведения тела монолитной безврубовой перемычки из разработанных цементных смесей, проникающих в нарушенную приконтурную углепородную зону, одновременно тампонируемую через веер объединённых коллектором нагнетательных шпуров, для обеспечения эффективной консолидации с массивом создаваемой изоляционной системы «монолитная перемычка – тампонажная завеса» в условиях пластовых выработок угольных шахт.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- корректной постановкой и решением задач исследования;
- применением апробированных классических методов и методик;
- удовлетворительной сходимостью результатов аналитических, экспериментальных, лабораторных, натурных исследований разработанных способов возведения изолирующих сооружений;
- положительными результатами масштабной опытно-промышленной апробации технологии возведения изоляционной системы «монолитная перемычка – тампонажная завеса» и ее элементов в шахтах Кузбасса.

Личный вклад автора заключается в:

- анализе и обобщении результатов известных теоретических и экспериментальных исследований в области изоляции горных выработок, инъекционного упрочнения и уплотнения горных пород, постановке и выполнении задач данного исследования, в разработке методик и проведении экспериментальных исследований, обработке полученных результатов, в обосновании, разработке и формулировке всех положений диссертационной работы;
- установлении зависимости влияния водо-твердого соотношения разработанных цементных смесей на их прочностные и реологические характеристики;
- установлении зависимости размера тампонажной завесы вокруг изолирующей перемычки от режимов и условий ее возведения;
- обосновании и разработке способов изоляции пластовых выработок угольных шахт консолидированными тампонажной завесой монолитными безврубными перемычками в условиях пластовых выработок угольных шахт;
- разработке составов импортозамещающих цементных смесей УГМ и УГМ-П, и их адаптации под существующий сырьевой рынок Кузбасса; разработке опытных образцов уникального облегченного насосно-смесительного оборудования; адаптации реометрического экспресс-метода оценки трещиноватости и контроля качества тампонажа приконтурного углепородного массива пород с применением современных устройств и оборудования;
- создании промышленного полу-автоматизированного производства сухих цементных смесей УГМ и УГМ-П заданной производительности и качества для промышленной апробации авторской технологии и ее широко-масштабного внедрения.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в научном обосновании и широкомасштабной апробации технологических решений, позволивших объединить процессы заполнения опалубки, пропиточный безнапорный и инъекционный способы тампонажа, обеспечивших качественную интеграцию изолирующего сооружения в трещиноватый приконтурный углепородный массив с созданием консолидирующейся изоляционной системы «монолитная перемычка – тампонажная завеса» в условиях пластовых выработок угольных шахт.

Научное значение работы заключается в расширении области применения и обосновании процессов управления физическими характеристиками структурно-анизотропного углеродного массива при монолитном возведении консолидированных изоляционных сооружений, интегрируемых в нарушенную приконтурную зону пластовых выработок в процессе управляемой фильтрации водо-твердых суспензий на едином минеральном вяжущем по прилегающим трещинам.

Практическое значение работы заключается в совершенствовании и расширении области применения способов качественной и эффективной изоляции безврубовыми монолитными перемычкам из импортозамещающих минеральных смесей пластовых выработок с сильно трещиноватой приконтурной зоной. Разработанная технология является частью комплекса мероприятий по пластовой дегазации, проветриванию горных выработок, обеспечению снижения уровня метана в общешахтной атмосфере и кислорода в отработанном пространстве, профилактике и тушению эндогенных пожаров при ресурсосберегающем строительстве и безопасной эксплуатации угольных шахт. Разработанные методические указания, инструкции и инструментальное обеспечение, специализированные смеси и оборудование, рациональные технологические режимы, являются элементами комплексной системы изоляции пластовых выработок с контролем качества работ.

Реализация работы. Для промышленной апробации разработанной технологии и ее широкомасштабного внедрения автором запущено полуавтоматизированное производство цементных смесей УГМ и УГМ-П мощностью 2,5 тыс. тонн в месяц, создана научно-производственная компания «УГМ-Сервис» («Упрочнение Горного Массива», г. Кемерово). На шахты РУК (Евраз), СУЭК-Кузбасс, БЕЛОН, УК «Промуглесбыт, Холдинг «Сибуглемет», УК «Заречная», УГМК, Антоновская, Торговый Дом Меркурий, ТопПром, Сибирская угольная компания, Шахта Большевик, и др. (общее количество – около 40 шахт), за 2013-2019 гг. поставлено более 48,5 тыс. тонн сухих смесей УГМ и УГМ-П, возведено более 1 тыс. изоляционных сооружений. Этапы работ оформлены актами приемки изоляционного сооружения, актами выполненных работ, в том числе актами выполнения тампонажных работ, диагностики и контроля технического состояния ИП, реометрического контроля приконтурной зоны с оценкой трещиноватости и фильтрационных свойств массива до и после тампонажа (см. Приложения). Основные результаты диссертационной работы вошли в разработанные локальные инструкции по применению смесей УГМ и УГМ-П, в методические указания по неразрушающему контролю состояния перемычек, по оценке трещиноватости и фильтрационных свойств массива горных пород, являющиеся стандартом научно-производственной компании ООО «УГМ-Сервис» и приняты к обязательному исполнению на шахтах УК «Распадская» (приказ от 31.08.2018 г. № 405). Таким образом, разработан апробированный полный технологический комплекс – от специализированных цементных смесей УГМ и УГМ-П, технологических решений и схем, образцов уникального облегченного насосно-смесительного оборудования, до экспресс-методов и аппаратуры контроля качества работ.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были представлены на международных и российских научно-практических конференциях, в том числе: ежегодных конференциях молодых ученых «Развитие», ФИЦ УУХ СО РАН; международных научно-практических конференциях «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» – «Сибресурс», КузГТУ; IX Китайско-Российском симпозиуме «Геотехнология, интеллектуальная техника и охрана окружающей среды», г. Циндао, Китай; III Международном инновационном горном симпозиуме, КузГТУ. Технологические решения и предложения по модернизации технологий изоляции горных выработок докладывались на технических совещаниях угледобывающих компаний и в профильных организациях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 7 публикаций в периодических изданиях из перечня ВАК и 3 патента на изобретения РФ.

Объём и структура диссертации. Состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 245 наименований, изложенных на 184 страницах; приложений, изложенных на 125 страницах; содержит 47 рисунков, 18 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведено состояние вопроса по изученной проблеме.

Исследованием процессов управления физическим состоянием массивов, технологиями изоляции горных выработок, занимались/занимаются организации: Спецтампошахтеология, МакИСИ, КузНИИшахтострой, ВостНИИ, НИИГД (РосНИИГД), Кузбасский и Пермский ГТУ, ФИЦ УУХ СО РАН, ИГД СО РАН, ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского, Ги УрО РАН, ИГД ДВО РАН, Ги ФИЦ КНЦ РАН, СФУ, ИГДС СО РАН, ИГДГиГ СФУ, ТулГУ, МИСиС, СПбГУ, МГУ, СибГИУ, УГГУ, Гидроспецпроект, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, АО ЦНИИС, ВНИИОМШС, ВИОГЕМ, Триада-Холдинг, и др. При этом, современный уровень развития указанных направлений достигнут благодаря работам: А.А. Баряха, И.В. Баклашова, Ю.В. Буркова, И.И. Вахрамеева, П.П. Гальченко, Е.Б. Дружко, Е.Г. Дуды, В.В. Евтушенко, А.А. Еременко, Л.М. Ерофеева, Ю.З. Заславского, В.П. Зубова, В.С. Зыкова, Е.П. Калмыкова, А. Камбефора, Б.А. Картозия, И.В. Качана, Э.Я. Кипко, А.Б. Кондратова, Ю.Н. Куликова, М.В. Курлени, В.А. Лагунова, Г.Г. Литвинского, Н.Т. Логачева, О.Ю. Лушниковой, А.Е. Майорова, А.П. Максимова, Г.И. Маньковского, В.И. Митракова, И.Д. Насонова, В.Н. Опарина, А.Н. Панкратенко, Ю.А. Полозова, Б.Д. Половова, С.М. Простова, М.А. Саламатова, В.М. Серякова, Ю.Н. Спичака, П.С. Сыркина, Н.Г. Трупака, А.В. Угляницы, А.П. Федоровича, В.Н. Фрянова, В.А. Хмяляйна, И.Л. Черняка, Е.И. Шемякина, А.А. Шилина, и др. Для развития направления изоляции пластовых выработок шахт также актуален опыт гидротехнического строительства, в части инъекционной цементации массива, опыт стабилизации оснований зданий и сооружений, опыт тампонажа в нефте- и газодобывающей промышленности.

Непосредственно с технологиями возведения и оценки работоспособности изоляционных сооружений, предупреждения и тушения подземных эндогенных пожаров в угольных шахтах, задачами проветривания шахт, воз-

духопроницаемости угольных и породных массивов, также связаны работы А.Е. Баганиной, Е.И. Глузберга, В.В. Егошина, В.А. Жеребцова, В.Г. Игишева, О.Ю. Лукашова, Д.Ю. Палеева, И.А. Поддубного, Л.П. Понасенко, В.Б. Попова, И.В. Попова, В.А. Портола, С.А. Эпштейн, и др.

Изучены практический опыт изоляции горных выработок и отработанных пространств шахт Кузбасса, отработан сырьевой рынок Сибири. Изучены классические схемы возведения изолирующих монолитных перемычек, технологии основных производителей специализированных цементных смесей (ЦС) России. Из анализа вышеприведённого опыта следует.

Известные способы изоляции горных выработок и выработанных пространств более развивались в части внедрения технологии опалубочного возведения тела безврубных монолитных перемычек из импортных цементных смесей. Пластовые горные выработки являются наиболее сложными в эксплуатации сооружениями, с широко варьируемыми горно-геологическими и горнотехническими условиями с нарушенной приконтурной зоной угля. В угольных шахтах выявлено планомерное нарушение герметичности изолирующих перемычек, отсутствие полноценной интеграции монолитного тела с нарушенной приконтурной зоной. Объект в виде хаотично нарушенной приконтурной зоны угольного пласта, геометрически ограниченной толщиной монолитной перемычки и контуром нарушений, имеющий уникальные физические и эксплуатационные характеристики, в задачах управляемой цементации ранее не рассматривался. Основными требованиями к конструкции ИП является ее регламентированная толщина и прочность, негорючесть, технологичность и скорость возведения, высокая изолирующая способность и взрывоустойчивость. Очевидно, что требуемую устойчивость безврубной конструкции на контакте с нарушенным пластом можно обеспечить только при его полной консолидации с монолитным телом перемычки. Применение различных технологических операций требует их объединения во времени и пространстве, а различные материалы – их физической и технологической совместимости. Наиболее доступны: портландцемент, твёрдые техногенные отходы ТЭС и металлургических предприятий Сибири.

Таким образом, сформулированы основная цель, объект и предмет, основная идея и задачи исследований, решение которых качественно повлияет на эффективность интеграции изоляционного сооружения в нарушенную приконтурную зону и его консолидацию с вмещающим углепородным массивом.

Во второй главе приведено решение первой задачи.

Определены взаимодополняющие требования к специализированным импортозамещающим сухим смесям на цементном вяжущем (ЦС): для тампонажа – целесообразны относительно низкие значения динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 , Па в рабочем диапазоне массового водотвердого соотношения (В/Т); целесообразно общее снижение влияния седиментации и проявление большей пластичности; прочность должна быть сопоставима с прочностными характеристиками обрабатываемого углепородного массива; для монолитных конструкций – целесообразно обеспечить высокую подвижность, а при твердении трещиностойкость, низкий нагрев и усадку, отсутствие расслоения, регламентированную прочность.

Учитывая региональное ограничение сырья, разработан единый базовый состав: цемент марки ПЦ-500 – до 45%, твёрдые техногенных отходы ТЭС и металлургических предприятий Кузбасса – до 50%. Технологическими требованиями, учитывающими время потери текучести и набора прочности ЦС, возможность механизации работ по их приготовлению и транспортированию по трубопроводам, непрерывному заполнению опалубки большого объёма, обеспечение фильтрации по трещинам прилегающих горных пород, обусловлено применение различных добавок-ускорителей и стабилизаторов, добавок-наполнителей (инертных и активных) – до 5%.

Созданы две взаимодополняющие марки ЦС: УГМ – для инъекционного тампонажа нарушенных горных пород с раскрытием трещин от 0,1 мм, и УГМ-П – для возведения монолитных безврубковых перемычек с пропиточным безнапорным тампонажем крупных трещин раскрытием от 1 мм в прилегающей приконтурной зоне. Исследованы их физико-механических характеристики в зависимости от В/Т (использованы: сервогидравлическая система RDS-500 ФИЦ УУХ СО РАН и машина ИР5040-5 со станцией ПУ-19 УГМ-Сервис, проведено более 520 испытаний) (пример в таблице).

Таблица

Зависимости характеристик образцов УГМ и УГМ-П от В/Т соотношения

ЦС	В/Т (масс.)	Плотность раствора, кг/м ³	Расход сухой смеси, кг/м ³	Расплав по ГОСТ 31356, см	Прочность в возрасте 28 сут, МПа	
					изгиб	сжатие
УГМ-П	0,35	1737	1287	20	5,8	23,2
	0,47	1680	1143	28,6	2,8	19,2
	0,7	1464	861	36,3	1,3	4,0
	1,0	1195	598	>40	1,0	2,1
УГМ	0,4	1798	1284	22	2,4	23,1
	0,5	1680	1120	27	3,2	14,0
	0,59	1520	950	29	2,7	8,9

Исследование реологических характеристик разработанных ЦС, затворённых водой, проведено на 4 образцах: образец 1) – цемент марки ПЦ-500 – 100%; образец 2) – цемент марки ПЦ-500 – 50%, золо-шлаковые отходы – 50%; образец 3) (УГМ-П) – цемент марки ПЦ-500 – до 45%, золо-шлаковые отходы – до 50%, добавки (ускорители, стабилизаторы, наполнители) в остатке; образец 4) (УГМ) – цемент марки ПЦ-500 – до 45%, золо-шлаковые отходы – до 50 %, добавки полимеризирующие – до 1%; добавки ускорители, стабилизаторы, наполнители – в остатке. Всего проведено 357 испытаний на ротационном вискозиметре Rheotest RV 2.1. В процессе решения задачи проведено: – уточнение режимов приготовления образцов ЦС при заданном В/Т; – измерение реологических параметров образцов ЦС, определение коэффициентов реологических уравнений и построение кривых течения, учитывающей соотношение между напряжением сдвига τ , Па, и скоростью сдвига $\dot{\gamma}$, с⁻¹; – оценка реологических характеристик образцов ЦС. Оценка проведена по характерным для суспензий известным моделям течения: ньютоновская жидкость; псевдопластичная жидкость (степенная); вязкопластичная жидкость (бингамовская). Определены оптимальные уравнения, наилучшим образом описывающие полученные экспериментальные данные при различном В/Т: – образец 1) 0,3 и 0,4 – степенная модель; 0,35 и 0,45 – линейная модель;

– образец 2) 0,3 и 0,4 – степенная модель; 0,35 и 0,45 – линейная модель; – образец 3) 0,25 – линейная модель; 0,3 и 0,35 – степенная модель; 0,4 и 0,45 – линейная модель; – образец 4) 0,25 и 0,3 – степенная модель; 0,35 – линейная модель. При этом, для заданного значения скорости сдвига j , равного 100 с^{-1} , дополнительно определена эффективная динамической вязкость $\mu_{\text{эфф}}$, $\text{Па}\cdot\text{с}$, каждого образца ЦС (рис. 1). Также, определены основные зависимости динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 , Па , (рис. 2), структурной вязкости $\mu_{\text{стр}}$, коэффициента консистентности k и индекса потока n от массового В/Т соотношения ЦС.

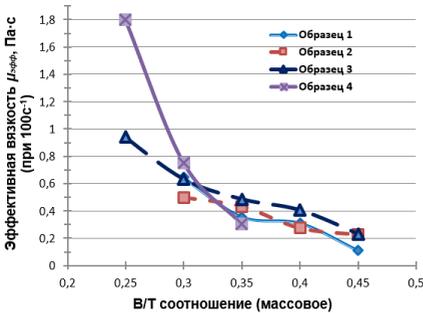


Рис. 1. Зависимость эффективной динамической вязкости $\mu_{\text{эфф}}$ от массового В/Т

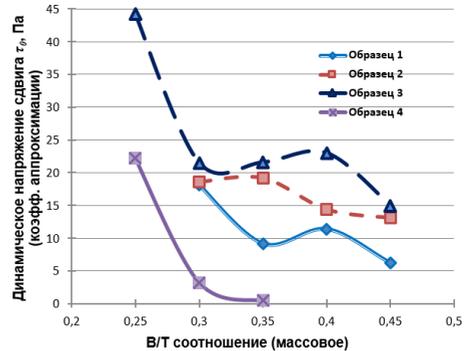


Рис. 2. Зависимость динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 от массового В/Т

Смесь УГМ характеризуется значительным ростом значений эффективной вязкости при максимальном В/Т, что позволит более эффективно управлять процессом инъекционного тампонажа массива пород, регулируя соотношение ее расхода и давления нагнетания в инъекционные шпурь (скважины). У УГМ-П проявляются структурные характеристики, что положительно влияет на технологические процессы пропиточного тампонажа, где практически нет возможности регулировать режим нагнетания в трещины пород приконтурной зоны. Повышение концентрации обеспечивает нелинейный рост значения τ_0 у смеси УГМ-П и нелинейный рост значений $\mu_{\text{эфф}}$ смеси УГМ, что должно положительно влиять на качество заполнения трещин горных пород и эффективность применения технологии управляемого тампонажа при возведении системы «монолитная переемычка – тампонажная завеса».

Для дальнейшего развития и широкомасштабного внедрения технологии изоляции пластовых выработок: – разработаны технологические схемы, организовано и запущено промышленное производство в Кузбассе сухих ЦС УГМ и УГМ-П мощностью до 2500 т/мес. ; – разработан и изготовлен современный облегченный тампонажный комплекс АСА-1 на базе облегченного мембранного растворонасоса СО-49С (производительность от $4 \text{ м}^3/\text{час}$, рабочее давление нагнетания до 1 МПа); – наработана опытная промышленная партия ЦС УГМ и УГМ-П, проведены цеховые испытания с оценкой технологичности приготовления с использованием шахтного ПБН-15 (производительность по сухой ЦС $1,5\text{-}2,2 \text{ т/час}$), перекачки по трубопроводам, заполнения опалубки. Подтверждена высокая подвижность и транспортируемость,

стабильность качества раствора. Реальное отклонение полученной плотности от ожидаемой (по рецепту) составило не более 1-2%. Наиболее рациональной с позиции качества гомогенизации и расхода УГМ-П является длина трубопроводов от 50 до 70 м. Для дальнейших шахтных исследований технологии изоляции проведена сертификация ЦС с подтверждением физических характеристик в независимой лаборатории, созданы инструкции по применению.

На основании полученных результатов сформулировано первое научное положение.

В третьей главе приведено решение второй задачи.

Затворённые водой ЦС смеси рассматриваются как водо-твёрдые суспензии, а фильтрация по трещинам – как гидротранспорт дисперсных частиц. Горные породы с трещинами приняты недеформируемыми под давлением нагнетания ЦС. Перепад давления на тампонируемом участке равен давлению нагнетания ЦС в трещины. Учитывая работы А.Е. Майорова по массопереносу частиц цементных суспензий в щелевом пространстве и полученные в настоящей работе результаты, очевидно, что для тампонажа трещин раскрытием более 1 мм рациональное В/Т смеси составляет 0,45-0,47.

Конструктивной основой изоляционного сооружения является монолитное тело, технология возведения которого непосредственно влияет на режимы и условия тампонажа приконтурной зоны вмещающей горной выработки. За период 2013-2019 гг. произведено более 44,5 тыс. т. ЦС УГМ-П, из которой возведено более 1 тыс. ИП, и более 520 т. ЦС УГМ, из которой возведено более 320 инъекционных тампонажных завес вокруг указанных ИП (36 шахт Кузбасса, см. Приложение). Основным условием качественного возведения системы «монолитная перемычка – тампонажная завеса» в условиях пластовых выработок является процесс ее интеграции в нарушенный трещиноватый приконтурный углеродный массив. Шахтными исследованиями доказано, что процесс интеграции целесообразен при совмещении технологических этапов: 1) пропиточный тампонаж крупных трещин бортов в пределах зоны отжима угольного пласта на ширину завесы h_1 , проходящий под влиянием давления высоты столба подвижной смеси УГМ-П в наполняемой опалубке; 2) инъекционный тампонаж смеси УГМ в приконтурную зону трещиноватых пород вокруг перемычки через веер шпуров, на ширину завесы h (рис. 3).

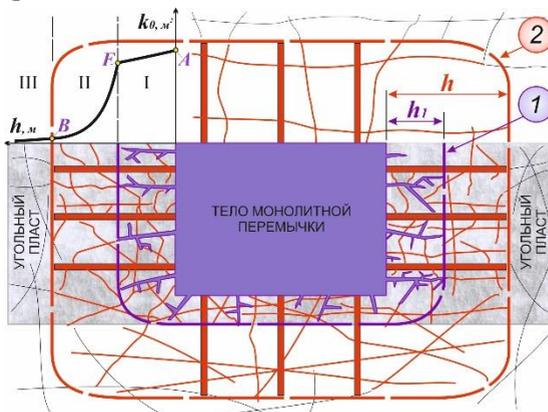


Рис. 3. Технологические этапы возведения тампонажной завесы в приконтурной зоне пластовой выработки:

- (1) – противывающий;
- (2) – инъекционный

По степени трещиноватости и воздухопроницаемости выделено 3 зоны: I – максимальной (частичная или полная потеря связи с массивом – зона отжима – h_1 , проявляется трещинами с раскрытием до 20 мм и трещинной пустотностью 6-10%); II – высокой (с режимом воздушной фильтрации, изменяемым по квадратичному закону распределения); III – устойчивой части массива (практически отсутствует трещиноватость и воздухопроницаемость). При этом, по сравнению с породным, значительно более разрушенной является приконтурная бортовая часть угольного массива, достигающая величины $h = 2,5$ м.

Пропиточный безнапорный тампонаж. В процессе лабораторных исследований при пропиточном тампонаже горизонтальной трещины блока угля выявлено не заполнение тонких трещин раскрытием до 1 мм (рис. 4).

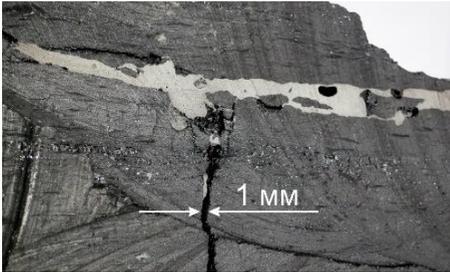


Рис. 4. Образец угля марки Д с горизонтальной крупной трещиной, заполненной смесью УГМ-П при пропиточном тампонаже, и незаполненной тонкой, раскрытием до 1 мм.

Для исследования размеров приконтурной зоны пропиточного безнапорного тампонажа нарушенных пород (угля) вокруг перемычек были выбраны ИП во вмещающем охранном целике угольного пласта между конвейерным и вентиляционным штреками в условиях шахт Распадская-Коксовая, Антоновская, Алардинская, Усковская (19 участков). Из прилегающих к ИП бортов пластовых выработок производился отбор образцов угля с заполненными смесью УГМ-П трещинами. После набора массива данных определена зависимость ширины зоны пропитки борта угольного пласта h_1 от величины раскрытия трещин δ , определяющая область применения пропиточного тампонажа, с учетом условий возведения и взаимосвязью с параметрами тела ИП (рис. 5).

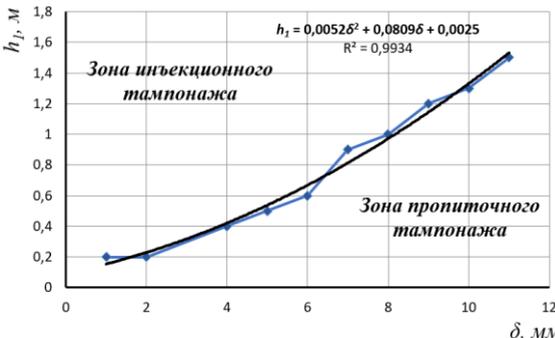


Рис. 5. Зависимость ширины пропиточного тампонажа угольного пласта h_1 от величины раскрытия трещин δ

Инъекционный (нагнетательный) тампонаж. Проведены исследования размеров приконтурной зоны инъекционного тампонажа нарушенных

пород (угля) вокруг перемычек в условиях 12 шахт Кузбасса. В процессе исследований для каждого изоляционного сооружения проведены: визуально-измерительный контроль; реометрический контроль (используются закономерности изменения параметров фильтрации сжатого воздуха через раскрытые трещины – для оценки фактической трещиноватости и фильтрационных свойств массива горных пород, в том числе и углей); разработаны соответствующие методические указания и авторские средства контроля (см. Приложение) с использованием высокоточных датчиков – установка реометрическая УР-1 на базе автономного цифрового манометра-регистратора Crystal XP2i.

Схема окружающей тампонажной завесы во взаимосвязи с параметрами тела ИП представлена на рисунке 6. Отличием является веерное расположение нагнетательных шпуров вокруг тела ИП. Для заполнения рационального сечения ABCD приконтурной зоны вокруг тела перемычки необходимо соблюдение равенства двойного радиуса $2R$ распространения тампонажного раствора по трещинам горных пород толщине перемычки H . Расстояние между нагнетательными шпурами назначают при условии смыкания радиусов распространения тампонажного раствора R . Длина инъекционных шпуров соответствует размеру зоны интенсивной трещиноватости, определяемой в процессе скважинного эндоскопического и реометрического контроля.

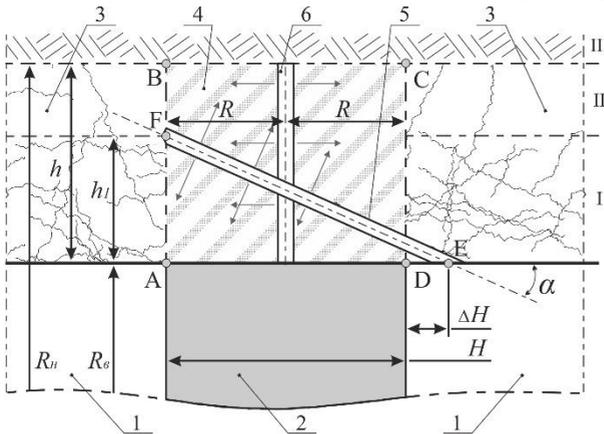


Рис. 6. Схема тампонажной завесы вокруг безрубчатой перемычки:

1 – горная выработка; 2 – перемычка; 3 – нарушенный приконтурный массив пород; 4 – тампонажная завеса; 5 и 6 – нагнетательные шпуры (последующий и предварительный)

Разработан и запатентован инженерный способ [17], основанный на учёте относительных величин, позволяющий, оперируя взаимным соотношением катетов прямоугольного треугольника AFE, рассчитать минимальный угол наклона гипотенузы, т.е. нагнетательных шпуров относительно контура горной выработки, град.:

$$\alpha = 45 \cdot h_1 / (H + \Delta H), \quad (1)$$

где h_1 – соответствует длине отрезка AF, м; H – толщина перемычки, м; ΔH – технологический отступ от перемычки, м; при условии, что значение ширины $h = AF + FB$. Отрезки AF и FB должны равняться радиусам распространения тампонажного раствора R по трещинам горных пород на соответствующих участках нарушенного приконтурного массива. При частном случае равенства отрезков AF и FB в схеме тампонажа угол наклона нагнетательных шпуров относительно контура горной выработки соответствует, град.:

$$\alpha = 22,5 \cdot h / (H + \Delta H). \quad (2)$$

При этом, радиус распространения тампонажного раствора R , m , по трещинам горных пород определяется с учетом зависимостей проф. В.А. Хямяляйна и полученных значений τ_0 , Pa , для разработанных ЦС.

Дальнейшее развитие перспективных технологий и математических моделей формирования тампонажных завес, разработанных в ОАО «Кузниишагострой», КузГТУ и ФИЦ УУХ СО РАН, позволяет учесть характеристики нарушенной приконтурной зоны при описании фильтрационных процессов, удовлетворяющих линейному закону движения и уравнению неразрывности потока. Инъекционный (нагнетательный) тампонаж формирует дополнительную завесу, окружающую перемычку и обеспечивает ее интеграцию в массив по трещинам с раскрытием от 0,1 мм. Параметры технологии тампонажа включают в себя: расход раствора в шпур, давление нагнетания, режим нагнетания, концентрацию раствора, радиус распространения раствора, время нагнетания, длину шпуров. Указанные параметры взаимосвязаны процессом фильтрации раствора в углепородном массиве и зависят от его фильтрационных характеристик. При этом, коэффициент проницаемости тампонажной завесы k_T , m^2 принят постоянными, а распределение коэффициента проницаемости незатампонируемого массива горных пород $k(r)$, с учетом результатов натурных исследований В.А. Хямяляйна принято экспоненциальным. При постоянных значениях давления нагнетания тампонажной смеси $P_{ш}$, Pa , и радиуса $R_{ш}$, m , инъекционных шпуров, исходя из условия, что радиус распространения смеси по трещинам не превышает значения половины толщины перемычки H , m , получена инженерная формула для определения расхода ЦС для каждого шпура, $m^3/час$:

$$Q_{ш}^i = \frac{2\pi R_{ш} P_{ш}}{\mu_{эфф} \left(\frac{H}{2} - R_{ш} \right)} \frac{k_o h}{e^{-\frac{R_B (k_o/k_n)}{h}} \cdot \ln(k_o/k_n)} \left(1 - e^{\frac{\ln(k_o/k_n)}{h} h_T} \right), \quad (3)$$

где k_o и k_n – коэффициенты проницаемости незатампонируемого массива на контуре выработки и за пределами влияния радиуса горной выработки, соответственно, m^2 ; R_B – радиус выработки в проходке, m .

Используя полученные зависимости уточнена методика расчета расхода ЦС для системы «моноконтурная перемычка – тампонажная завеса».

Анализ полученных результатов и ранее известного опыта позволил сделать следующие выводы: – герметичность ИП пластовых выработок в основном нарушена по их контуру, особенно в подкровельной части; – при регламентированной толщине ИП более 2 м на фильтрацию воздуха через окружающую тампонажную завесу в основном влияет ее глубина h ; – рациональные границы тампонажной завесы вокруг ИП соответствуют вдоль выработки – толщине перемычки, а радиально – ширине нарушенной приконтурной зоны с экспоненциально убывающим коэффициентом проницаемости; – в процессе опалубочного возведения тела ИП из УГМ-П в бортах пластовой выработки образуется зона пропиточного безнапорного тампонажа угольного пласта размером до 1,5 м; – приконтурная зона с незатампонируемыми трещинами обустраивается по указанной схеме и тампонируется, создавая завесу, размер которой прямо пропорционален их глубине и углу наклона над контуром перемычки с заданной толщиной.

Ситуация с полным или частичным отсутствием в России специализированного облегченного смесительно-инъекционного оборудования и инженерных экспресс-методов контроля качества изоляционных сооружений пластовых выработок, нормативов, определяет необходимость решения полного цикла задач внедрения новых технологий в условиях угольных шахт (на примере Кузбасса).

На основании полученных результатов сформулировано второе научное положение.

В четвертой главе приведено решение третьей задачи.

В течение 2013-2019 гг. в Кузбассе проведены широкомасштабные испытания технологии изоляции пластовых выработок 36 угольных шахт консолидированными тампонажной завесой монолитными безврубными перемычками. Инъекционный тампонаж прилегающего приконтурного углепородного массива проведён смесью УГМ с применением разработанных инъекторов, смесительно-нагнетательной установки АСА-1 в комплекте с системой приготовления и подачи смеси УГМ-П в опалубку на основе шахтного растворонасоса ПБН-15. Для оценки качества изоляции пластовых выработок принят комплексный критерий, учитывающий оперативные данные о техническом состоянии сооружения, фильтрационных характеристиках нарушений (трещин) приконтурной зоны пород горной выработки до и после проведения работ. Итогом проведённых исследований является разработка и патентование конструктивных и технологических решений по возведению консолидирующейся изоляционной системы «монолитная перемычка – тампонажная завеса» [18]. Так, в шахтах Кузбасса испытана коллекторная схема подключения нагнетательных шпуров к напорной линии по описанной технологии. Уникальность результата заключается в подтверждении факта самонастройки системы подачи тампонажного раствора под изменяющиеся гидродинамическое сопротивление нагнетательных шпуров в процессе инъекции. Даже при отказе части шпуров поток тампонажного раствора перераспределяется на другие, а при наличии его сброса в опалубку соблюдается идеальный для тампонажа режим: с постоянным расходом в начале процесса и плавным переходом в режим с постоянным давлением в конце процесса. В итоге, тампонажный насос нагнетает смесь под давлением P_n , МПа, с постоянным расходом Q_n , м³/час, составляющим сумму переменных по мере возведения изоляционной системы значений, с учетом (3):

$$Q_n = Q_o + \sum_{i=1}^n Q_{ш}^i, \quad (4)$$

где Q_o – объем тампонажного раствора, сбрасываемого в опалубку (остаток от возводимого объема тампонажной завесы), м³/час.

Разработан технологический регламент возведения консолидирующейся системы «монолитная перемычка – тампонажная завеса» в условиях пластовых выработок угольных шахт. При этом, общий объем ЦС УГМ-П и УГМ, расходуемый на возведение безврубной монолитной перемычки с одновременным возведением тампонажной завесы, $V_{цс}$, м³, составляет сумму

$$V_{цс} = V_{цст} + V_{цсп}. \quad (5)$$

Объем ЦС, расходуемый на возведение тела перемычки $V_{цсп}$, м³

$$V_{цсп} = [(S \cdot H) + (P \cdot H \cdot h_1) \cdot k_m - O] \cdot k_{зцс}, \quad (6)$$

где S – фактическая площадь поперечного сечения пластовой выработки в

месте возведения ИП, m^2 ; H – фактическая толщина переемычки, m ; P – фактический периметр контура пластовой выработки в месте возведения ИП, m ; h_j – глубина зоны пропиточного тампонажа, m , характеризуемой хаотичной крупной трещиноватостью k_m – при 10% пустотности приконтурной зоны принят равным 0,1; $k_{зис}$ – коэффициент запаса ЦС на технологические потери, принят равным 1,1; O – объем закладных конструкций в теле переемычки (трубы, окна), m^3 . Удельный расход смеси для материала УГМ-П принять $1050 \text{ кг}/m^3$.

Объем раствора ЦС УГМ для инъекционного тампонажа приконтурной зоны углеродного массива $V_{цст}$, m^3 , первично оценивается по зависимости, показывающей остаточный объем пустот приконтурной зоны глубиной h , соответствующей границе контура устойчивой части массива (рис. 3 и 6).

$$V_{цст} = (P \cdot H \cdot h) \cdot k_{mp} \cdot k_{зис}, \quad (7)$$

где k_{mp} – коэффициент трещиноватости (пустотности), определяемый после формирования зоны пропиточного тампонажа по результатам реометрического контроля и ВИК диагностических шпуров, как суммарное раскрытие трещин при допущении равномерности и линейности.

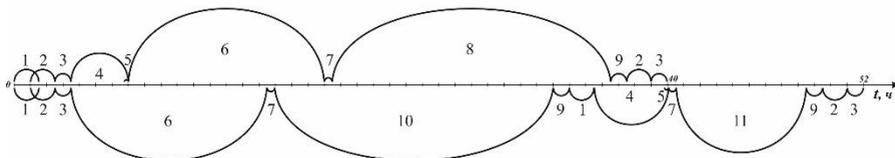
На примере шахты «Алардинская» представителен комплекс изоляционных работ по пожарному участку №79, обеспечивший общее снижение утечек метановоздушной смеси через изолирующие сооружения с 280 до 120 $m^3/мин.$, общее снижение концентрации CO и O_2 . По замерам на переемычке №1129 концентрация газа CO снизилась с 2,0 до 0%, а O_2 с 2,0 до 1,8%. На скважине №806 концентрация газа CO снизилась с 2,9 до 0,0071%, а O_2 с 2,9 до 1,4%. Также, показательным является положительный результат реализации в условиях шахты «Распадская-Коксовая» технологии изоляции блоков КСО 3-1-1 и 3-1-2 – доказано снижение метана перед ИП с 2% до нормы, т.е. более чем в 4 раза; а кислорода в отработанном пространстве лавы с 19 до 12%, т.е. более чем в 1,5 раза (по показаниям станции SKPA\O2 с 24.01.2017 по 27.01.2017).

Оценивая разработанную технологию, на рисунке 7 представлен пример усреднённого времени выполнения основных операций технологического цикла возведения переемычки и последующей тампонажной завесы, по сравнению с комплексным возведением консолидирующейся изоляционной системы «монолитная переемычка – тампонажная завеса», при прочих равных условиях.

Основные методические рекомендации по технологии изоляции пластовых выработок угольных шахт консолидированными тампонажной завесой монолитными безвзрывовыми переемычками сводятся к следующему. Эффективная консолидация ИП происходит при проникновении смеси УГМ-П в трещины вмещающих пород на глубину до 1,5 m . Эффект «прорастания» тела монолитного сооружения в массив является частью процесса его интеграции, снижая перетоки газа (метановоздушной смеси) через систему трещин вмещающих пород из изолируемого выработанного пространства минуя переемычку. Основные параметры одновременного возведения тампонажной завесы включают в себя: расход раствора в каждую скважину, давление нагнетания, режим нагнетания, концентрацию раствора, радиус распространения

раствора, время нагнетания, длину скважин. Указанные параметры взаимосвязаны процессом фильтрации раствора в массиве и изменяющегося гидродинамического сопротивления трещин пород.

Комплексное



Последующее

Рис. 7. Операции технологического цикла возведения системы «монолитная перемычка-тампоная завеса»:

1 – подготовительные работы, 2 – бурение диагностических скважин, 3 – обследование места возведения с оценкой трещиноватости массива, 4 – бурение инъекционных шпуров, 5 – монтаж пакеров и нагнетательной линии, 6 – возведение опалубки, 7 – пуско-наладка нагнетательного оборудования, 8 – возведение системы «перемычка-тампоная завеса», 9 – промывка и демонтаж нагнетательного оборудования, 10 – возведение тела перемычки, 11 – возведение тампоной завесы

Наиболее технологичной является коллекторная схема подключения инъекционных шпуров к нагнетательной магистрали, обеспечивая регулирующую подачу смеси в каждый из шпуров, в зависимости от изменяющегося гидродинамического сопротивления обрабатываемой зоны массива трещиноватых пород. Учитывая локальность тампоной завесы вокруг изолирующей перемычки, рациональный радиус распространения смеси УГМ составляет 1,5-2 м, что при веерном расположении инъекционных шпуров глубиной 2-3 м позволяет сформировать изоляционный контур. При этом, базовым режимом нагнетания смеси УГМ на каждую скважину является: в начале «с постоянным расходом» около $4-5 \text{ м}^3/\text{ч}$ в течение 2-3 мин., далее, «с постоянным давлением» около 0,5-1 МПа в течение времени потери подвижности смеси (около 15 мин.). В сложных горно-геологических условиях качественное заполнение трещин углеродной зоны и минимизация протечек в горную выработку обеспечивается на первом этапе циклическим нагнетанием ЦС УГМ в скважины при низких давлениях ($< 0,5 \text{ МПа}$) и расходах ($< 1,5 \text{ м}^3/\text{час}$) при двухуровневой веерной радиальной схеме расположения инъекционных шпуров с наклоном в сторону тела ИП.

На основании полученных результатов сформулировано третье научное положение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, рекомендации по технологии изоляции пластовых выработок угольных шахт консолидированными тампоной завесой монолитными безрубевыми перемычками, имеющие существенное значение для развития страны за счёт обеспечения эффективной и безопасной подземной разработки угольных месторождений при ресурсосберегающих строительстве и эксплуатации шахт.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации сводятся к следующему.

1. В условиях угольных шахтах Кузбасса ежегодно возводят и эксплуатируют более 1 тыс. опалубочных изолирующих безврубковых монолитных перемычек из специализированных смесей на основе цемента, непосредственно влияющих на состояние общешахтной атмосферы, долю кислорода, СО и метана в выработанном пространстве, общую безопасность и эффективность ведения горных работ. Современные технологии и регламенты угледобычи требуют повышения количества изоляционных сооружений. Основной объем ИП возводится именно в пластовых выработках (штреки, квершлагги, сбойки, и т.д.), осложненными условиями эксплуатации, наличием угольного пласта и сильно нарушенной приконтурной зоной, что предъявляет особые требования к используемым технологиям изоляции, конструкциям и материалам. При этом, главной не решённой до настоящего времени проблемой является отсутствие полноценной герметичности и управляемой консолидации тела ИП с трещиноватым вмещающим углепородным массивом.

2. Разработанные на основе отходов ТЭС и металлургических предприятий цементные смеси (УГМ и УГМ-П), в зависимости от их водотвердого соотношения обеспечивают нелинейный рост значений предела прочности на одноосное сжатие и изгиб. В итоге, для смеси УГМ-П рациональными являются: массовое В/Т 0,45-0,47; время потери текучести до 15 мин.; предел прочности при одноосном сжатии до 20 МПа; прочность на изгиб до 4,5 МПа; расход смеси УГМ-П – 1050-1070 кг/м³. Для смеси УГМ рациональными являются: массовое В/Т до 0,5; время потери текучести до 15 мин.; предел прочности при одноосном сжатии – через 24 часа не менее 3,8 МПа, – через 28 суток не менее 20,0 МПа; разрушающая нагрузка при изгибе (растяжение при изгибе) – в возрасте 24 часа 1,5 МПа, – в возрасте 28 суток 4,1 МПа.

3. Реологические параметры цементных смесей УГМ и УГМ-П, в зависимости от их массового водотвердого соотношения в диапазоне от 0,45 до 0,25, характеризуются степенными и линейными реологическими моделями течения. Нелинейный рост значений динамического (предельного) напряжения сдвига τ_0 , Па, больше проявлен у УГМ-П и меньше – у УГМ. Увеличение массового В/Т соотношения смесей более 0,5 приводит к резкой потере их пластичности, расслоению и большему проявлению ньютоновских свойств, снижению эффективной динамической вязкости $\mu_{эфф}$, Па·с. В свою очередь, активное отфильтровывание жидкой фазы в микротрещины и поры пород снижает массовое В/Т соотношение у потока смеси, способствуя при низком давлении нагнетания и расходе формированию более плотной структуры и остановке потока ЦС в трещинах. Повышение концентрации цементных смесей до предельного В/Т = 0,25 приводит к росту значения $\mu_{эфф}$ у смеси УГМ, максимум которого в два раза превышает максимум значения $\mu_{эфф}$ у смеси УГМ-П при средней скорости сдвига 100 с⁻¹;

4. Непрерывная наливная опалубочная технология возведения тела изолирующей перемычки из смеси УГМ-П, при времени потери ее подвижности 15 мин, В/Т соотношении 0,45-0,47, и постоянном давлении 0,01-0,02 МПа, формируемой высотой столба смеси в опалубке, сопровождается пропиточной безнапорной фильтрацией по крупным трещинам бортов пластовой

выработки. При этом, размер зоны пропиточного тампонажа изменяется нелинейно, в зависимости от величины раскрытия горизонтальных трещин бортов в диапазоне от 1 до 12 мм при зафиксированном максимуме 1,5 м.

5. Размер окружающей тампонажной завесы от тела перемычки ограничен зоной инъекционного тампонажа смесью УГМ трещин раскрытием от 0,1 мм. При этом, указанная граница зоны прямо пропорциональна глубине инъекционных шпуров, расположенных радиально веером и наклонённых над контуром под углом, определяемым из соотношения, учитывающего толщину перемычки, размеры зоны нарушений и радиус распространения смеси. Нагнетание смеси УГМ в скважины производят до полного смыкания инъекционного контура при нормативной толщине перемычки более 2 м.

6. Разработанные способы изоляции пластовых выработок основаны на совмещении процессов возведения тела монолитной безврубовой перемычки из цементных смесей, проникающих в прилегающий приконтурный массив, дополнительно тампонируемый через веер объединённых коллектором нагнетательных шпуров, тем самым, создавая систему «монолитная перемычка – тампонажная завеса». Обоснованные исследованием процессы интеграции смеси УГМ-П тела монолитной безврубовой перемычки в нарушенную приконтурную углепородную зону, совместно с дополняющим инъекционным тампонажем смесью УГМ, способствуют более качественной консолидации тампонажной завесой монолитных безврубовых перемычек пластовых выработок угольных шахт. При этом обеспечено снижение концентрации метана перед перемычкой до 4 раз – или до 75%, а кислорода в обработанном пространстве до 1,5 раз – или до 37%.

7. Промышленная реализация разработанной технологии комплексной изоляции пластовых выработок обеспечена наличием: современного производства цементных смесей УГМ и УГМ-П мощностью 2,5 тыс. тонн в месяц; апробированных технологических и конструктивных решений; образцов уникального облегчённого насосно-смесительного оборудования; методических рекомендаций по технологии изоляции пластовых выработок безврубовыми монолитными перемычками с одновременным возведением тампонажных завес; экспресс-методов и аппаратуры контроля качества работ; комплекса утверждённой документации; положительными результатами масштабного внедрения на ведущих угледобывающих предприятиях России.

8. Перспективы темы направлены на дальнейшее развитие теории фильтрации флюидов (суспензий) в трещиновато-пористой среде угольного пласта и решение задач управления физическим состоянием горных пород при комплексной изоляции выработанного пространства угольных шахт.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

Научные периодические издания из перечня ВАК

1. Нурғалиев, Е.И. Эффективные технологии упрочнения массива для проезда очистного комплекса через горные выработки / Е.И. Нурғалиев, В.Н. Шмат, А.Е. Майоров // Уголь. – 2013. – №10. – С. 16-19.

2. Нурғалиев, Е.И. Технология ликвидации «куполов» с упрочнением приконтурной зоны минеральной смесью УГМ-Р. Опыт внедрения на ЗАО

«Шахта «Костромовская» / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров, Е.Ю. Розонов // Уголь. – 2013. – №7. – С. 28-30.

3. Нурғалиев, Е.И. Технология скоростного возведения высокопрочных безврубовых перемычек с использованием специализированных цементных смесей / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров, Г.Н. Роут // Уголь. – 2014. – №6. – С. 20-23.

4. Нурғалиев, Е.И. Технологические схемы возведения изоляционных сооружений горных выработок угольных шахт / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров // Уголь. – 2018. – № 11. – С. 10-17. – DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-11-10-17> (Scopus).

5. Нурғалиев, Е.И. Физико-механические характеристики специализированных цементных смесей для комплексной изоляции горных выработок / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 50–55. – DOI: 10.26730/1999-4125-2018-4-50-55.

6. Нурғалиев, Е.И. Реологические характеристики специализированных цементных смесей для комплексной изоляции горных выработок / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 56–64. – DOI: 10.26730/1999-4125-2018-4-56-64.

7. Нурғалиев, Е.И. Опыт комплексной изоляции горных выработок шахт Распадской угольной компании. Шахта «Распадская-Коксовая» – часть I / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров, А.А. Черепов // Уголь. – 2019. – №2. – С 25-30. – DOI: 10.18796/0041-5790-2019-2-25-30 (Scopus).

Прочие научные издания, материалы конференций

8. Нурғалиев, Е.И. Технология возведения монолитных взрывоустойчивых безврубовых перемычек с применением минеральной смеси «УГМ» / Ежегодная молодежная конференция ИУ СО РАН – 2015 [Электронный ресурс]: сборник трудов конференции 16-17 апреля 2015 г. – Электронные текстовые дан. – Кемерово: Институт угля СО РАН, 2015. – С. 59-70.

9. Нурғалиев, Е.И. Диагностика, контроль и упрочнение нарушенного приконтурного массива пород при возведении взрывоустойчивых безврубовых перемычек / Ежегодная конференция молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие–2016» [Электронный ресурс]: сборник трудов конференции 11 – 13 мая 2016 г. – Электронные текстовые дан. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2016. – С. 63-72.

10. Нурғалиев, Е.И. Диагностика и контроль состояния нарушенного приконтурного массива пород при возведении и эксплуатации безврубовых перемычек / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2016: материалы XVI международной научно-практической конференции, 23-24 ноября 2016 г., Кемерово; секц. 9. – [Эл. ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачёва»; отв. редактор А.А. Хорешок. – Кемерово, 2016. – http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Sibresource/2016/materials/pages/Articles/fizicheskie_processy_gornogo_i_neftegazovogo_proizvodstva/119.pdf.

11. Нурғалиев, Е.И. Технология инъекционной цементации нарушенной приконтурной зоны безврубовых перемычек горных выработок / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров // Природные и интеллектуальные ресурсы

Сибири. Сибресурс 2016: материалы XVI международной научно-практической конференции, 23-24 ноября 2016 г., Кемерово; секц. 9. – [Эл. ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачёва»; отв. редактор А.А. Хорешок. – Кемерово, 2016. – http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Sibresource/2016/materials/pages/Articles/fizicheskie_processy_gornogo_i_neftegazovogo_proizvodstva/120.pdf.

12. Нурғалиев, Е.И. Концепция технологии инъекционной цементации нарушенного приконтурного массива пород изолирующих сооружений горных выработок / Ежегодная конференция молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие–2017» [Электронный ресурс]: сборник трудов конференции 16 – 18 мая 2017 г. – Электронные текстовые дан. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2017. – С. 128-135.

13. Майоров, А.Е. Исследование физико-механических характеристик горных пород и специализированных материалов для технологий строительства, реконструкции и безопасной эксплуатации угольных шахт / А.Е. Майоров, И.Л. Абрамов, Е.И. Нурғалиев // Вестник НЦ ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2017. – № 3. – С. 36-43.

14. Нурғалиев, Е.И. Параметры противодиффузионных завес вокруг изоляционных сооружений / Ежегодная конференция молодых ученых ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие–2018» [Электронный ресурс]: сборник трудов конференции 10 – 12 апреля 2018 г. – Электронные текстовые дан. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2018. – С. 41-52.

15. Khyamyalyainen, V.A. Parameters of antifiltration screens, which are around underground isolating structures / V.A. Khyamyalyainen, E.I. Nurgaliev, A.E. Mayorov // 3rd International Innovative mining symposium. Section environment saving mining technologies. Kemerovo, Russian Federation, October 3-5, 2018. E3S Web of Conferences 41, 01008 (2018). EDP Sciences, published online 26 June 2018, Number of page(s) 6. DOI 10.1051/e3sconf/20184101008 (Scopus).

Патенты

16. Пат. 2677186 РФ, МПК E21F 15/04. Способ возведения шахтных перемычек / Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров; заявитель и патентообладатель Е.И. Нурғалиев, А.Е. Майоров. – № 2017139715/03; заявл. 14.11.2017; опубл. 15.01.2019, Бюл. № 2. – 8 с.

17. Пат. 2677722 РФ, МПК E21D 11/38, E21F 17/103. Способ тампонажа приконтурного массива пород шахтных перемычек / Е.И. Нурғалиев; заявитель и патентообладатель Е.И. Нурғалиев. – № 2018107023/03; заявл. 26.02.2018; опубл. 21.01.2019, Бюл. № 3. – 8 с.: ил.

18. Пат. 2679212 РФ, МПК E21D 11/10. Способ возведения консолидирующей изоляционной системы «перемычка-тампонажная завеса» / Е.И. Нурғалиев; заявитель и патентообладатель Е.И. Нурғалиев. – № 2018114618/03(022875); заявл. 19.04.2018; опубл. 06.02.2019, Бюл. № 4. – 10 с.: ил.