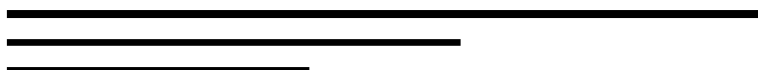


ISSN 2415-8585



ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

**«МАКЕЕВСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ
В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**



***Способы и средства
создания безопасных и здоровых
условий труда в угольных шахтах***

Выпуск № 2 (апрель – июнь) (73) 2026

Макеевка

2026

**Комитет по науке и технологиям
Донецкой Народной Республики**

***ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»***

***Способы и средства создания безопасных и
здоровых условий труда в угольных шахтах***

Сборник

Выходит 4 раза в год

Основан в декабре 1988 г.

Выпуск № 2 (апрель – июнь) (73) 2026

**Макеевка
ГБУ «МАКНИИ»
2026**

УДК 622.8.004.2

ISSN 2415-8585

Учредитель, редакция и изготовитель – *Государственное бюджетное учреждение «Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности»*

СМИ зарегистрировано Министерством информации Донецкой Народной Республики: Свидетельство ААА № 000203 от 26.06.18 г.

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук Безбородов В.А.	– главный редактор
канд. техн. наук Диденко В.В.	– заместитель главного редактора
канд. техн. наук Кременев О.Г.	– ответственный секретарь
канд. техн. наук Гладков А.Ю.	– технический секретарь
д-р техн. наук Алабьев В.Р.	
канд. техн. наук Демченко О.А.	
канд. техн. наук Диденко В.П.	
д-р техн. наук Долженков А.Ф.	
д-р техн. наук Канин В.А.	
д-р техн. наук Ковалев А.П.	
канд. техн. наук Лобода В.В.	– научный редактор

Сборник включен в библиографическую базу данных Российского индекса научного цитирования (договор № 84-03/2018 от 07.03.2018 г.)

Подписан к печати по рекомендации Ученого совета ГБУ «МАКНИИ» (протокол № 6 от 19 июня 2026).

Освещаются вопросы состояния безопасности труда в угольных шахтах. Предлагаются меры для предупреждения несчастных случаев, улучшения санитарно-гигиенических условий труда в шахтах. Указываются перспективные направления для обеспечения безопасности горных работ.

Статьи, помещенные в сборнике, актуальны, посвящены современным проблемам снижения травматизма, содержат полезную информацию и практические рекомендации для инженерно-технических работников отрасли.

СОДЕРЖАНИЕ

I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Терентьева Е.В., Деньга В.В.

**О направлениях исследования процесса получения эмульгаторов для
эмульсионных взрывчатых веществ 7**

Терентьева Е.В., Белодед А.В., Белодед А.Г.

**Анализ влияния различных факторов на процесс глицеролиза
растительных масел и качество готового эмульгатора 16**

Кривоноженков М.В., Деменков А.И., Майбенко Н.И.

**Обоснование параметров комбинированного теплоизоляционного
покрытия трубопроводов 24**

II. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Лобода В.В., Манец Н.В.

**Разработка основных положений построения и функционирования
принципиально новой системы аварийной защиты передвижных
винтовых компрессорных установок..... 30**

Верещагина Е.В., Манец Н.В., Лобода В.В.

**Обеспечение экологической безопасности на промышленных
предприятиях при длительной эксплуатации передвижных винтовых
маслозаполненных компрессорных установок..... 37**

Манец Н.В., Лобода В.В., Третьяков С.Н.

**Необходимость совершенствования аварийной защиты передвижных
винтовых маслозаполненных компрессорных установок..... 44**

**Горошко И.П., Пархоменко Р.А., Диденко В.В., Гаврилко В.А.,
Лисицын Д.А.**

**Об обеспечении электробезопасности эксплуатации участковых
сетей 3,3 кВ угольных шахт 51**

**Карповский А.Ю., Диденко В.В., Лисицын Д.А., Свистельник С.В.,
Орлов А.Д.**

**Об устройстве с оптической развязкой для согласования сигналов
датчиков трехфазной сети 59**

Карповский А.Ю., Пурис А.И., Андрусенко С.Н.

**Комплекс средств для управления очистным комбайном
КДК 1000 – инструмент снижения рисков 69**

**Пархоменко Р.А., Горошко И.П., Гладков А.Ю., Диденко В.В.,
Бондаренко С.В.**

**Об обнаружении короткого замыкания трехфазной сети с
изолированной нейтралью путем контроля периодичности переходов
токов фаз через нулевое значение 79**

Тараненко А.А., Волков Д.Э., Новикова О.Н.

**О процессах, происходящих при квазичастотном электропитании
асинхронного двигателя скребкового конвейера 86**

Мельников С.А., Капран Л.Н., Россиян С.А., Сидаркевич А.А.

**Основные направления использования породных отвалов угольных
шахт Донбасса 93**

III. ОХРАНА ТРУДА

Бойко Я.Н., Богоудинов Р.М., Рыжков М.Ф., Черниговцев А.А.

**О распространении воды в призабойной части пласта при
гидрорыхлении 100**

**Рыжков М.Ф., Бойко Я.Н., Богоудинов Р.М., Ризниченко С.А.,
Левченко Л.М.**

**О влиянии гидрорыхления на изменение положения максимума
опорного давления призабойной зоны пласта 108**

Золотин В.Г., Никифоров А.В., Карпенко А.И.

**Оценка возможности применения высоконапорного нагнетания
жидкости в режиме гидрорыхления для борьбы с выбросами
породы и газа в условиях рудника «Интернациональный»
АК АЛРОСА (ПАО) 114**

Володин А.В., Деревянский В.Ю., Скляров А.Л., Гречка С.А.

Об инструкции по отбору проб воды из поверхностных водоемов 126

Деревянский В.Ю., Володин А.В., Скляров А.Л., Гречка С.А.

**О требованиях охраны труда при отборе проб воды из поверхностных
водоемов 132**

Скляров А.Л., Володин А.В., Деревянский В.Ю., Гречка С.А.

О программе отбора проб воды из поверхностных водоемов..... 137

Тында Г.Б., Береговой Р.В.

**Уточнение зависимости утечек воздуха через выработанное
пространство выемочных участков угольных шахт от крепости**

пород кровли 142

Андрусенко И.Н., Тында Г.Б.

О нормативной базе, регламентирующей действия подразделений
ВГСЧ при спасении горнорабочих 150

Тында Г.Б., Болтунов О.Г., Зушинская В.В., Толошный С.И.,
Роменская Л.А.

О необходимости разработки устройства для оценки аварийного
состояния трубопроводов дегазационной системы 166
Вустяк Д.Н., Вустяк Н.Ф., Мусатова Н.Л.

О беспроводной локализации мобильных объектов в
угольных шахтах 170

Пархоменко Р.А., Горошко И.П., Гладков А.Ю., Диденко В.В.,
Бондаренко С.В.

Об обнаружении межфазного короткого замыкания в трехфазных
сетях с изолированной нейтралью 176

Андрусенко И.Н.

О расчете времени выхода горнорабочих из зоны задымления на
свежую струю воздуха 184

I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 661.185.76

Е.В. ТЕРЕНТЬЕВА, науч. сотр.,

В.В. ДЕНЬГА, зав. лаб.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О НАПРАВЛЕНИЯХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЭМУЛЬГАТОРОВ ДЛЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Проанализированы основные классы эмульгаторов, их физико-химические и функциональные свойства, способы их получения из растительного сырья. Рассмотрены требования к эмульгаторам для эмульсионных взрывчатых веществ. Изучены рыночные предпосылки разработки отечественных эмульгаторов и выделены ключевые тренды, связанные с импортозамещением, использованием возобновляемого сырья и повышением срока стабильности эмульсионных систем. Предложены перспективные направления исследований в области получения эмульгаторов для эмульсионных взрывчатых веществ.

Ключевые слова: эмульгатор, растительное сырье, жирные кислоты, сорбитановые эфиры, полиглицериновые эфиры, HLB, устойчивость эмульсий, химическая модификация масел.

Эмульсионные взрывчатые вещества (ВВ) представляют собой специализированные промышленные материалы, в которых устойчивость эмульсионной матрицы является одним из определяющих факторов безопасности хранения, технологической надежности и сохранения эксплуатационных характеристик. В таких системах эмульгатор выполняет не вспомогательную, а структурообразующую функцию: он обеспечивает формирование и стабилизацию дисперсной системы, препятствует коалесценции капель, влияет на вязкость, водостойкость, термостабильность и способность материала сохранять заданные свойства во времени. Поэтому разработка отечественных эмульгаторов для эмульсионных ВВ должна рассматриваться как самостоятельное научно-техническое направление, объединяющее химию растительных масел, коллоидную химию, технологию поверхностно-активных веществ и прикладные методы оценки устойчивости эмульсий.

Актуальность рассматриваемой проблемы определяется несколькими

обстоятельствами. Современный ассортимент эмульгаторов достаточно широк, однако значительная часть высокоэффективных продуктов для специализированных промышленных систем относится к импортной продукции или к закрытым коммерческим рецептурам. В условиях ограничения поставок и необходимости импортозамещения возрастает значение отечественных разработок, способных обеспечить стабильные характеристики эмульсионных матриц. Для рынка эмульгаторов промышленных ВВ одной из неудовлетворенных потребностей является получение отечественного эмульгатора, обеспечивающего устойчивые свойства патронированных эмульсионных ВВ в течение гарантийного срока хранения, т. е., не менее 12 месяцев.

Цель работы – обоснование направлений исследований получения эмульгаторов для эмульсионных взрывчатых веществ.

Эмульгатор представляет собой амфифильное соединение, содержащее гидрофильный и липофильный фрагменты. Благодаря такому строению его молекулы адсорбируются на границе раздела фаз, снижают межфазное натяжение и формируют защитный слой вокруг капель дисперсной фазы. Для эмульсионных ВВ важна не только начальная способность к эмульгированию, но и долговременная стабилизация обратной эмульсии в условиях высокой концентрации неорганических солей, температурных колебаний, механических воздействий и длительного хранения. Эти требования существенно отличаются эмульгаторы для промышленных ВВ от эмульгаторов пищевого или косметического назначения.

Одним из базовых критериев выбора эмульгатора является гидрофильно-липофильный баланс (HLB). Этот показатель характеризует соотношение гидрофильной и липофильной частей молекулы. Эмульгаторы с низкими значениями HLB преимущественно стабилизируют обратные эмульсии типа «вода в масле», тогда как эмульгаторы с более высокими значениями HLB применяются для прямых эмульсий типа «масло в воде» [1]. Большинство эмульсионных матриц промышленных ВВ относится к обратным эмульсиям, поэтому для их стабилизации требуются эмульгаторы низкого HLB, как правило, ориентированные на диапазон от 3 до 6. Выход за пределы оптимального диапазона может приводить к снижению устойчивости, расслоению, изменению реологических свойств и ухудшению эксплуатационных характеристик.

По ионной природе эмульгаторы подразделяются на ионогенные и неионогенные. Ионогенные эмульгаторы стабилизируют систему преимущественно за счет электростатического отталкивания, однако в высокосолевых средах их эффективность может изменяться вследствие экранирования заря-

дов и взаимодействия с ионами. Неионогенные эмульгаторы стабилизируют эмульсию главным образом за счет стерического барьера и межфазной пленки, поэтому они обычно более устойчивы к колебаниям pH и высокой ионной силе. Поскольку полярная фаза эмульсионных ВВ представляет собой высококонцентрированную солевую среду, неионогенные низко-HLB эмульгаторы являются наиболее логичным направлением для разработки. Вспомогательное применение анионных компонентов также возможно, если оно повышает адгезию и механическую прочность системы, однако такая комбинация требует обязательной проверки совместимости.

Наиболее известными классами эмульгаторов, представляющими интерес для обратных эмульсий, являются сорбитановые эфиры жирных кислот, полиглицериновые эфиры жирных кислот, моно- и диглицериды жирных кислот, а также специализированные полимерные эмульгаторы. Сорбитановые эфиры, например, Span 60 и Span 80, характеризуются низким HLB и хорошо известны как эмульгаторы для систем «вода в масле». Полиглицериновые эфиры жирных кислот дают более широкие возможности регулирования свойств за счет изменения степени полимеризации полиглицерина и степени этерификации. Моно- и диглицериды могут выполнять роль соэмульгаторов и структурообразующих компонентов, однако, как самостоятельные эмульгаторы для высокосолевых систем ВВ они часто требуют модификации или применения в составе комбинированных систем. На практике используются не только индивидуальные вещества, но и композиции нескольких поверхностно-активных компонентов [2].

Современные рыночные тренды дополнительно усиливают интерес к растительному сырью. В смежных сегментах рынка эмульгаторов заметно растет внимание к возобновляемым источникам, прослеживаемости происхождения сырья и концепции *clean-label*, предполагающей снижение зависимости от синтетических компонентов [3]. Для промышленных ВВ термин *clean-label* не имеет того же потребительского смысла, что в пищевой промышленности, однако сам тренд на возобновляемое и доступное сырье сохраняет значение. Растительные масла являются массовым сырьем, содержащим преимущественно триглицериды высших жирных кислот, а также небольшие количества фосфолипидов, свободных жирных кислот и сопутствующих компонентов. Именно триглицеридная фракция представляет наибольший интерес для последующего получения жирных кислот и синтеза низко-HLB эмульгаторов.

Фосфолипидная фракция растительных масел, например, лецитин, сама обладает эмульгирующими свойствами, однако для эмульсионных ВВ ее

применение ограничено. Это связано с пограничными значениями HLB, чувствительностью к высокосолевым фазе, возможному разрушению при повышенных температурах и экономической нецелесообразностью использования высокоочищенных фосфолипидов в крупномасштабных промышленных системах. Следовательно, более перспективным направлением является не прямое использование фосфолипидов, а получение жирных кислот из триглицеридов растительных масел с последующей химической модификацией в целевые классы эмульгаторов.

Сырьевой выбор должен учитывать жирнокислотный состав масла, доступность, стоимость, устойчивость к окислению и способность к дальнейшей модификации. Соевое масло является одним из наиболее доступных и экономически привлекательных видов сырья, однако высокая доля линолевой и линоленовой кислот повышает его окислительную чувствительность. Рапсовое масло содержит больше олеиновой кислоты и имеет более сбалансированный профиль жирных кислот, что делает его перспективным с точки зрения устойчивости конечного продукта. Подсолнечное масло также может использоваться как сырье, но стандартные сорта с высоким содержанием линолевой кислоты требуют контроля окислительных процессов. Международные стандарты по растительным маслам фиксируют различия в жирнокислотных профилях, а технические отчеты по моно- и диглицеридам подтверждают возможность получения эмульгаторов из различных растительных масел, включая соевое, рапсовое и подсолнечное. [4,5].

Получение эмульгаторов из растительных масел может осуществляться по нескольким направлениям. Одно из них связано с прямым глицеролизом триглицеридов и получением моно- и диглицеридов. Этот подход промышленно освоен и технологически сравнительно прост, но для эмульсионных ВВ может быть недостаточен, если требуется устойчивый низко-HLB эмульгатор с заданной структурой. Следующее направление предполагает получение свободных жирных кислот из триглицеридов методом гидролиза, после чего жирные кислоты этерифицируют многоатомными спиртами, например, сорбитаном или полиглицерином. Такой маршрут сложнее, но предоставляет больше возможностей для управления свойствами конечного продукта.

На стадии получения жирных кислот возможны кислотный, щелочной и ферментативный гидролиз, а также переэтерификация. Щелочной гидролиз технологически прост и экономичен, но приводит к образованию солевых отходов и требует стадии подкисления для выделения жирных кислот. Кислотный гидролиз способен обеспечить высокую степень превращения, однако связан с более жесткими условиями, коррозией оборудования, повышенными

энергозатратами и риском деструкции ненасыщенных жирных кислот. Ферментативный гидролиз является наиболее мягким и селективным, но высокая стоимость ферментов и сложности масштабирования ограничивают его применение в крупнотоннажном производстве. Поэтому для промышленной разработки наиболее реалистичными остаются кислотный и щелочной маршруты, при обязательном контроле качества жирных кислот и содержания побочных продуктов.

После получения жирных кислот наиболее перспективными реакциями являются их этерификация с сорбитаном или полиглицерином. Сорбитановые эфиры привлекательны тем, что их состав более предсказуем, а значения HLB часто соответствуют требованиям обратных эмульсий. Процесс их получения обычно более управляем, по сравнению с полиглицериновыми системами, особенно при ориентации на моноэфиры. Полиглицериновые эфиры, напротив, дают более широкий диапазон свойств за счет изменения степени полимеризации полиглицерина, количества этерифицированных гидроксильных групп и состава жирнокислотной части. Это делает их перспективными для тонкой настройки межфазной активности, вязкости, термостабильности и прочности межфазной пленки.

Сравнение этих двух направлений показывает, что сорбитановые эфиры целесообразно рассматривать как основу для получения более простого и воспроизводимого низко-HLB эмульгатора, тогда как полиглицериновые эфиры являются более гибкой платформой для создания линейки продуктов с регулируемыми свойствами. При этом обе технологии требуют строгого контроля жирнокислотного состава масел, кислотного числа, степени этерификации, остаточного содержания катализатора, воды, продуктов окисления и транс-изомеров. Именно такие параметры могут определять не только начальную эмульгирующую способность, но и долговременную устойчивость эмульсионной матрицы.

Особое внимание необходимо уделять транс-изомерам жирных кислот и продуктам окисления. Их образование возможно при жесткой термической обработке, длительном нагреве, наличии следов металлов и контакте с кислородом. Транс-изомеры имеют более линейную геометрию по сравнению с природными цис-изомерами, что может изменять температуру плавления, плотность упаковки и реологические свойства эмульгатора. В небольших количествах они могут повышать жесткость структуры, однако их накопление ухудшает пластичность, диспергируемость и стабильность межфазного слоя. Продукты окисления, в свою очередь, способны ухудшать цвет, запах, кислотное число и функциональную активность. Поэтому минимизация побоч-

ных превращений должна быть одним из самостоятельных направлений исследования.

На основании изложенной информации выделим наиболее перспективные направления исследований. Первым перспективным направлением исследований следует считать разработку неионогенного низко-HLB эмульгатора из жирных кислот растительного происхождения. Такой эмульгатор должен быть ориентирован на стабилизацию обратной эмульсии «вода в масле», обладать достаточной растворимостью в органической фазе, формировать прочную межфазную пленку и сохранять свойства при температурных колебаниях. В качестве сырьевой базы целесообразно рассматривать, прежде всего, рапсовое и соевое масла. Соевое масло выигрывает по распространенности и стоимости, а рапсовое масло – по более сбалансированному жирнокислотному составу и повышенной устойчивости к окислению по сравнению с сырьем, богатым полиненасыщенными кислотами.

Вторым перспективным направлением является оптимизация стадии получения жирных кислот. Здесь важны выбор между кислотным и щелочным гидролизом, снижение количества побочных продуктов, контроль транс-изомеров, перекисного числа, цветности и кислотного числа. Для последующей этерификации необходима не просто высокая степень гидролиза, а стабильная жирнокислотная фракция с воспроизводимым составом. Это особенно важно для эмульгаторов промышленных ВВ, поскольку небольшие изменения состава могут заметно влиять на HLB, вязкость, межфазное натяжение и устойчивость эмульсионной матрицы.

Третьим направлением является сравнительное исследование сорбитановых и полиглицериновых эфиров жирных кислот. Для каждого из них необходимо установить зависимость между составом жирнокислотной фракции, степенью этерификации, значением HLB, вязкостью, межфазной активностью и устойчивостью модельных обратных эмульсий. Практический интерес представляет не только индивидуальный эмульгатор, но и комбинированные системы, в которых несколько компонентов формируют более плотную и прочную межфазную пленку. Такой синергический эффект может быть особенно важен для повышения срока хранения эмульсионных матриц.

Четвертым направлением является разработка стабилизирующих добавок и методов очистки готового эмульгатора. Остаточные кислоты, щелочи, соли, продукты окисления и непрореагировавшие компоненты могут менять кислотное число, электропроводность, вязкость и устойчивость эмульгатора при хранении. Следовательно, технологическая схема должна включать не только синтез, но и контролируемую нейтрализацию катализаторов, удаление

воды, фильтрацию и оценку качества продукта. Для промышленных ВВ особенно важно, чтобы эмульгатор сохранял свойства в течение всего гарантийного срока и не вызывал ускоренного старения эмульсионной матрицы.

Пятым направлением является разработка ускоренной оценки устойчивости эмульгатора, для которой целесообразно использовать: термостатирование, циклы нагрев–охлаждение, микроскопический анализ размера капель, оценку вязкости, межфазного натяжения, кислотного и перекисного числа, а также контроль расслоения. В научной литературе подчеркивается, что устойчивость эмульсионных ВВ определяется совокупностью межфазных, реологических и структурных факторов, поэтому оценка эмульгатора должна быть комплексной, а не ограничиваться только HLB или исходным химическим составом.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ показывает, что исследование процесса получения эмульгаторов для эмульсионных ВВ должно быть направлено на создание отечественного неионогенного низко-HLB продукта на основе растительного сырья. Наиболее перспективными классами соединений являются сорбитановые и полиглицериновые эфиры жирных кислот, а также их композиции со стабилизирующими компонентами. Наиболее значимыми научными задачами являются выбор сырья, получение жирных кислот с минимальным количеством побочных продуктов, оптимизация этерификации, контроль транс-изомеров и окислительных примесей, а также разработка ускоренных методов оценки стабильности.

Таким образом, потенциальные направления исследований формируются на пересечении рыночных требований и технологических возможностей. Рынок требует отечественного эмульгатора, обеспечивающего стабильные эксплуатационные характеристики и срок хранения эмульсионных ВВ не менее 12 месяцев. Современные научно-технические возможности позволяют использовать растительное сырье, контролируемый гидролиз триглицеридов, этерификацию жирных кислот с сорбитаном или полиглицерином и разработать комбинированные низко-HLB системы. Наиболее рациональная стратегия заключается в последовательном исследовании цепочки «растительное масло – жирные кислоты – целевой эмульгатор – устойчивость модельной обратной эмульсии», позволяющей связать состав исходного сырья с функциональными характеристиками конечного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества. Синтез, свойства, анализ и применение / К.Р. Ланге; перевод с английского под ред. Л.П. Зайченко. – СПб.: Профессия, 2007. – 240 с.
2. Fact.MR. Clean-Label Emulsifiers Market Size, Share, Growth and Forecast 2026-2036. <https://www.factmr.com/report/clean-label-emulsifiers-market>
3. WO2017103635A1. Emulsifier system for explosive emulsions. Google Patents. <https://patents.google.com/patent/WO2017103635A1/en>
4. CXS 210-1999 Codex Alimentarius. Standard for Named Vegetable Oils. – текст: электронный // URL: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ar/?lnk=1&url=https://workspace.fao.org/sites/codex/Standards/CXS+210-1999/CXS_210e.pdf. – (дата обращения: 06.05.2026).
5. USDA Agricultural Marketing Service. Technical Evaluation Report: Glycerides, Mono and Di. 2015
<https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1780392816&tld=ru&lang=en&name=Glycerides%20TR%202015.pdf&text=USDA%20Agricultural%20Marketing%20Service.%20Technical%20Evaluation%20Report%3A%20Glycerides%2C%20Mono%20and%20Di.%202015.&url=https%3A%2F%2Fwww.ams.usda.gov%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedia%2FGlycerides%2520TR%25202015.pdf&lr=24876&mime=pdf&l10n=ru&sign=9fa03abbf659eb5003108c0c549f75df&keyno=0&nosw=1&serpParams=tm%3D1780392816%26tld%3Dru%26lang%3Den%26name%3DGlycerides%2520TR%25202015.pdf%26text%3DUSDA%2BAgricultural%2BMarketing%2BService.%2BTechnical%2BEvaluation%2BReport%253A%2BGlycerides%252C%2BMono%2Band%2BDi.%2B2015.%26url%3Dhttps%253A%2F%2Fwww.ams.usda.gov%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedia%2FGlycerides%252520TR%2525202015.pdf%26lr%3D24876%26mime%3Dpdf%26l10n%3Dru%26sign%3D9fa03abbf659eb5003108c0c549f75df%26keyno%3D0%26nosw%3D1>

Получено: 02.06.26

Рекомендовал к публикации д-р техн. наук Калякин С.А.

UDC 661.185.76

E. V. TERYTYEVA, research worker,

V. V. DENGА, head of laboratory; GBU MAKNIИ, Makeyevka

RESEARCH STRANDS OF EMULSIFIER PRODUCTION PROCESS FOR EMULSION EXPLOSIVES

In this research paper basic classes of emulsifier, their physical and chemical and functional properties as well as production methods from plant raw material have been analyzed. The requirements to emulsifier for emulsion explosives have been considered. Market backgrounds for development of home-produced emulsifier have been researched and the scientific trends have been identified related to import substitution, usage of renewable feedstocks and stability augmentation of emulsifier systems. Promising research strands have been suggested in the field of production of emulsifier for emulsion explosives.

Keywords: emulsifier, plant feedstock, fatty acids, sorbitan ethers, polyglycerol ethers, HLB, emulsion stability, chemical modification of oils.

УДК 661.185.76

Е.В. ТЕРЕНТЬЕВА, науч. сотр.,

А.В. БЕЛОДЕД, науч. сотр.,

А.Г. БЕЛОДЕД, инж.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ГЛИЦЕРОЛИЗА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И КАЧЕСТВО ГОТОВОГО ЭМУЛЬГАТОРА

Рассмотрены основные факторы, влияющие на процесс глицеролиза растительных масел и качество получаемых эмульгаторов. Показано, что эффективность процесса определяется составом исходного сырья, типом и концентрацией катализатора, соотношением глицерина и масла, температурой и продолжительностью реакции, интенсивностью перемешивания, условиями защиты от окисления и последующей очисткой продукта.

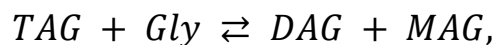
Ключевые слова: растительные масла, глицерин, глицеролиз, три-, моно- и диглицериды, эмульгатор, катализатор, окислительная стабильность, кислотное число.

Эмульгаторы широко используются в разных отраслях народного хозяйства в качестве стабилизаторов эмульсии. Растительные масла являются одним из наиболее доступных и возобновляемых видов сырья для получения промышленных эмульгаторов. Основу растительных масел составляют триглицериды высших жирных кислот, которые при взаимодействии с глицерином способны образовывать моно- и диглицериды жирных кислот – вещества, обладающие поверхностно-активными свойствами и используемые как промышленные эмульгаторы. Одним из распространенных способов переработки масел является глицеролиз, представляющий собой реакцию переэтерификации, в ходе которой ацильные остатки жирных кислот перераспределяются между триглицеридами и глицерином. Эффективность процесса глицеролиза и качество готового эмульгатора зависят от многих факторов. Несоблюдение оптимальных технологических параметров может приводить к развитию побочных реакций. Исследование факторов, влияющих на процесс глицеролиза растительных масел, имеет важное научное и практическое значение. Оно позволяет определить условия, обеспечивающие повышение выхода целевых

продуктов, снижение количества побочных продуктов, улучшение физико-химических характеристик и повышение стабильности готового эмульгатора.

Цель работы – проанализировать влияние различных факторов на эффективность процесса глицеролиза растительных масел и качество получаемого эмульгатора, а также выявить наиболее значимые технологические параметры, управление которыми позволит повысить выход целевых моно- и диглицеридов, снизить количество побочных продуктов и обеспечить стабильные физико-химические и функциональные свойства готового продукта.

В общем виде глицеролиз растительных масел может быть выражен химическим уравнением:



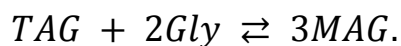
где *TAG* – триглицерид,

Gly – глицерин,

DAG – диглицерид,

MAG – моноглицерид.

При избытке глицерина целевое направление реакции можно представить следующим образом:

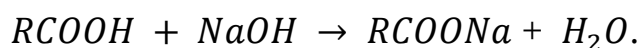


Однако, фактически глицеролиз не приводит к образованию только одного продукта. Реакционная масса представляет собой равновесную смесь триглицеридов, диглицеридов, моноглицеридов, свободного глицерина, свободных жирных кислот, солей жирных кислот и остаточного катализатора. Поэтому при разработке технологии важно учитывать не только сам факт протекания реакции, но и факторы, определяющие состав конечной смеси.

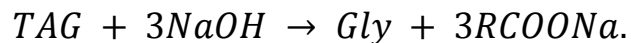
Одним из основных факторов, влияющих на процесс глицеролиза, является жирнокислотный состав исходного растительного масла [1]. Масла с высокой долей олеиновой кислоты обычно обладают большей окислительной стабильностью, чем масла, богатые линолевой и линоленовой кислотами. Это особенно важно для глицеролиза, так как процесс часто проводится при повышенных температурах. При нагревании полиненасыщенные жирнокислот-

ные остатки могут окисляться с образованием перекисей, альдегидов, кетонов и других продуктов, ухудшающих функциональные свойства эмульгатора [2].

Так же важным фактором является качество исходного масла. Для глицеролиза желательно использовать рафинированное и обезвоженное масло с низким кислотным числом. Наличие свободных жирных кислот повышает риск побочной реакции омыления при использовании щелочных катализаторов [2]. В этом случае свободные жирные кислоты ($RCOOH$) реагируют с щелочью с образованием солей жирных кислот ($RCOONa$):



Образование мыл является нежелательным, так как они усложняют разделение реакционной массы, увеличивают вязкость, ухудшают очистку и могут снижать качество готового эмульгатора. При избытке щелочи и наличии воды возможно также омыление самих триглицеридов:



Следовательно, кислотное число и содержание влаги в сырье являются важными параметрами. Чем выше кислотность и влажность масла, тем выше вероятность побочных реакций, снижения выхода моно- и диглицеридов и ухудшения качества продукта.

Значительное влияние на процесс оказывает тип и концентрация катализатора [3]. В химическом глицеролизе наиболее часто рассматриваются гомогенные щелочные катализаторы такие, как $NaOH$ и KOH . Они обеспечивают высокую скорость реакции, доступны и технологически освоены. Их недостатком является риск омыления и необходимость последующей нейтрализации, промывки и удаления солей. Более мягкие щелочные катализаторы, например, гидроксид кальция и карбонаты щелочных металлов, могут снижать интенсивность побочных реакций, но обычно уступают сильным щелочам по скорости процесса.

Перспективным направлением является использование гетерогенных основных катализаторов, таких как оксиды кальция и магния, смешанные оксиды и гидротальциты. Их преимущество состоит в возможности разделения

катализатора и продукта фильтрацией, снижающего загрязнение эмульгатора остатками катализатора и уменьшающего количество сточных вод. Однако такие катализаторы чувствительны к влаге, свободным жирным кислотам и диффузионным ограничениям. Эффективность гетерогенного катализа зависит от площади поверхности, пористости, активности основных центров и качества перемешивания.

Ферментативный гидролиз с использованием липаз отличается более мягкими условиями и высокой селективностью. Он позволяет снизить термическое повреждение ненасыщенных жирных кислот и уменьшить количество побочных продуктов. Однако ферментативные процессы обычно медленнее, дороже и сложнее для промышленного масштабирования. Кроме того, они чувствительны к содержанию воды, температуре, активности фермента и массопереносу между маслом и глицерином.

При недостаточном количестве катализатора реакция протекает медленно, что требует увеличения времени выдержки и может повышать риск окисления масла. При избыточном количестве катализатора возрастает вероятность побочных реакций, прежде всего омыления. Поэтому концентрация катализатора должна быть оптимизирована с учетом типа масла, кислотного числа, содержания влаги, температуры и требуемой степени превращения.

Для процесса гидролиза важным является соотношение глицерина и масла. Теоретически для полного превращения одной молекулы триглицерида в моноглицериды требуется две молекулы глицерина. На практике глицерин часто берут в избытке, поскольку это смещает равновесие реакции в сторону образования моноглицеридов. Однако слишком большой избыток глицерина может усложнять разделение фаз и последующую очистку продукта. Кроме того, масло и глицерин имеют ограниченную взаимную растворимость, поэтому избыток глицерина не всегда напрямую приводит к пропорциональному увеличению выхода моноглицеридов.

Еще одним фактором, влияющим на процесс гидролиза, является температурный режим. При повышении температуры возрастает скорость реакции, снижается вязкость реакционной массы и улучшается контакт между маслом и глицерином. Однако чрезмерно высокая температура усиливает побочные процессы: окисление ненасыщенных жирных кислот, потемнение продукта, ацильную миграцию и термическое разложение глицерина [2]. По-

этому температурный режим должен обеспечивать достаточную скорость реакции без заметного ухудшения качества эмульгатора.

Продолжительность реакции, которая тесно связана с температурой и активностью катализатора, также влияет на процесс глицеролиза. Недостаточное время реакции приводит к неполному превращению триглицеридов и низкой доле моно- и диглицеридов. Чрезмерно длительное выдерживание реакционной массы при высокой температуре может приводить к окислению, потемнению, росту кислотного числа и изменению изомерного состава глицеридов. Поэтому оптимальное время реакции определяется достижением требуемого состава продукта при минимальном развитии побочных процессов.

Особое значение имеют интенсивность перемешивания и массоперенос, поскольку масло и глицерин плохо смешиваются. Реакция протекает в системе с ограниченной совместимостью фаз, поэтому недостаточное перемешивание снижает скорость контакта реагентов и может приводить к неравномерному протеканию глицеролиза. Повышение интенсивности перемешивания улучшает диспергирование глицерина в масляной фазе, увеличивает поверхность контакта и ускоряет процесс. Однако чрезмерное перемешивание может способствовать захвату воздуха, что нежелательно при переработке ненасыщенных масел.

На качество готового эмульгатора существенно влияет наличие кислорода. При контакте с воздухом ненасыщенные жирнокислотные остатки способны окисляться, особенно при высокой температуре. Поэтому, для масел с высокой долей линолевой и линоленовой кислот желательно проводить процесс в инертной атмосфере, например, под азотом, либо при пониженном давлении. Дополнительно могут применяться антиоксиданты и меры по исключению контакта реакционной массы с ионами переходных металлов, которые ускоряют окисление.

Качество готового эмульгатора оценивают по нескольким показателям, наиболее важным из которых является содержание моноглицеридов. Они обладают более выраженной поверхностной активностью, чем диглицериды, поскольку содержат больше свободных гидроксильных групп и лучше располагаются на границе раздела фаз. Диглицериды более липофильны и могут выполнять роль соэмульгаторов или структурирующих компонентов, но их

эмульгирующая способность обычно ниже. Поэтому для получения более эффективного эмульгатора необходимо повышать долю моноглицеридной фракции либо проводить последующую очистку продукта.

Последующая очистка является обязательной стадией при получении качественного эмульгатора. После глицеролиза необходимо удалить избыток глицерина, нейтрализовать катализатор, отделить соли жирных кислот и снизить содержание побочных примесей. Для повышения содержания моноглицеридов может применяться вакуумная или молекулярная дистилляция. Чем глубже очистка, тем выше функциональная стабильность эмульгатора, но тем выше стоимость производства.

Таким образом, процесс глицеролиза растительных масел является многофакторной системой. Нельзя рассматривать влияние только одного параметра, например, температуры или катализатора, изолированно от остальных условий. Высокая температура может ускорять процесс, но одновременно повышать риск окисления. Избыток глицерина может повышать выход моноглицеридов, но усложнять очистку. Сильный щелочной катализатор ускоряет реакцию, но при наличии влаги и свободных жирных кислот усиливает омыление. Поэтому оптимизация процесса должна проводиться комплексно.

Наиболее рациональным подходом является использование предварительно очищенного и обезвоженного масла, подбор оптимального соотношения глицерина и масла, применение контролируемого количества катализатора, проведение реакции при температуре, достаточной для высокой скорости процесса, но не вызывающей интенсивного окисления, а также использование инертной атмосферы и последующей очистки продукта.

По результатам анализа можно сделать вывод, что качество готового эмульгатора определяется как составом исходного растительного масла, так и технологическими условиями глицеролиза. Наиболее значимыми факторами являются жирнокислотный состав, кислотное число, влажность, тип и концентрация катализатора, температура, время реакции, перемешивание и глубина очистки. Управление этими параметрами позволяет повысить выход моно- и диглицеридов, снизить количество побочных продуктов и получить эмульгатор с более стабильными физико-химическими и функциональными свойствами.

ВЫВОДЫ

Глицеролиз растительных масел является эффективным способом получения эмульгаторов на основе моно- и диглицеридов жирных кислот. Однако качество готового продукта зависит от совокупного влияния большого числа факторов. Ключевыми из них являются состав исходного масла, содержание влаги и свободных жирных кислот, тип катализатора, его концентрация, соотношение глицерина и масла, температурно-временной режим, условия перемешивания, защита от кислорода и последующая очистка. Для получения стабильного и технологически пригодного эмульгатора необходимо минимизировать гидролиз, омыление, окисление и потемнение продукта. Перспективными направлениями совершенствования технологии являются применение гетерогенных катализаторов, ферментативных систем, инертной атмосферы, молекулярной дистилляции и оптимизация режимов реакции с учетом жирнокислотного состава конкретного растительного масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CXS 210-1999 Codex Alimentarius. Standard for Named Vegetable Oils. – текст: электронный // URL: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ar/?lnk=1&url=https://workspace.fao.org/sites/codex/Standards/CXS+210-1999/CXS_210e.pdf. – (дата обращения: 06.05.2026).
2. Верещагин А.Г. Структурный анализ природных триглицеридов/А.Г. Верещагин. – Текст : электронный // Успехи химии (Russian Chemical Reviews): электронный журнал. – URL: <https://www.uspkhim.ru/>. – (дата обращения: 15.05.2026).
3. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества. Синтез, свойства, анализ и применение. /Перевод с английского под ред. Л.П. Зайченко. СПб.: Профессия, 2007, 240 с.
4. Рогожин Антон Евгеньевич «Разработка нового катализатора и основ технологии переэтерификации растительных масел метанолом», Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук Дзержинск – 2017 https://diss.muotr.ru/media/dissertations/2017/06/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%

[A0%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D0%BD_%D0%90.%D0%95.pdf](#)

Получено: 08.06.26

Рекомендовал к публикации д-р техн. наук Калякин С.А.

UDC 661.185.76

E. V. TERYTYEVA, research worker,

A. V. BELODED, research worker,

A. G. BELODED, engineer; GBU MAKNI, Makeyevka

**ANALYSIS OF IMPACT OF DIFFERENT FACTORS
ON THE GLYCEROLIZATION PROCESS OF PLANT OILS
AND QUALITY OF RESULTANT EMULSIFIER**

In this research paper the main factors have been considered having an impact on the glycerolization process of plant oils and quality of resultant emulsifiers. It is demonstrated, that the efficiency of the process is defined by composition of feedstock, type and concentration of a catalyst, glycerine-oil relation, temperature and duration of reaction, intensity of mixing, conditions of antioxygenation and further refining of the product.

Keywords: plant oils, glycerine, glycerolization, tri-, mono- and diglycerides, emulsifier, catalyst, oxidation stability, acid number.

УДК 621.643:536.48

М.В. КРИВОНОЖЕНКОВ, ст. науч. сотр.,
А.И. ДЕМЕНКОВ, зав. лаб.,
Н.И. МАЙБЕНКО, мл. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Предложено комбинированное теплоизоляционное покрытие, содержащее основной слой из вспененного полиэтилена или каучука и внешний отражающий слой на основе алюминиевой фольги. Выполнено теоретическое обоснование оптимальной толщины слоев с учетом теплопроводности, влажностного режима и механической прочности. Расчеты показали снижение тепловых потерь от 25% до 30 % по сравнению с однослойной изоляцией.

Ключевые слова: тепловая изоляция, трубопровод, комбинированное покрытие, теплотери, теплопроводность, теплоснабжение.

Эффективная тепловая изоляция трубопроводов является одним из ключевых факторов энергосбережения в промышленности и ЖКХ. По данным [1], потери тепла в неизолированных или недостаточно изолированных трубопроводах достигают от 30% до 40 % общего теплового потока. Традиционная теплоизоляция: минеральная вата, пенополиуретан, пенополистирол обладает рядом недостатков таких как гигроскопичность, усадка, высокая теплопроводность при температурах от 90°C до 150 °C, сложность монтажа на фасонных элементах [2, 3].

Перспективным является использование комбинированных покрытий, сочетающих пористо-волокнуистые материалы и отражающие экраны. Такие покрытия позволяют одновременно снизить кондуктивную и лучистую составляющие теплопереноса [4]. Однако отсутствие научно обоснованных рекомендаций по выбору толщин и структуры слоев сдерживает их внедрение.

Цель работы – теоретическое обоснование параметров комбинированного теплоизоляционного покрытия для стальных трубопроводов диаметром от 50 до 300 мм при температуре теплоносителя от 60°C до 150°C.

Параметрами комбинированного теплоизоляционного покрытия являются: толщина основного теплоизоляционного слоя, воздушный зазор, отражающий материал.

В качестве основного слоя рассматривается вспененный полиэтилен

(ПЭ) с коэффициентом теплопроводности $\lambda_1 = 0,038$ Вт/м·К при 20°C и рабочим диапазоном до 100°C. Для температур от 100 °C до 150°C использовался вспененный каучук $\lambda = 0,042$ Вт/м·К.

Внешний слой – алюминиевая фольга толщиной 50 мкм с коэффициентом отражения ИК–излучения $R = 0,95$. Между базовым и отражающим слоем предусмотрен воздушный зазор δ_2 – от 5 до 20 мм для снижения конвективной составляющей.

Моделирование выполнялось для однетрубной надземной прокладки. Скорость ветра при прокладке соответствовала 5 м/с. Температура окружающего воздуха – минус 20°C. Тепловой поток рассчитывался по методике [3] с учетом термического сопротивления: внутренняя теплоотдача → стенка трубы → изоляция → воздушный зазор → фольга → наружная теплоотдача.

Составим теплофизическую модель комбинированного теплоизоляционного покрытия. Общее термическое сопротивление $R_{\text{общ}}$ (м²·К/Вт) определяется выражением [3]:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{вн}} + R_{\text{ст}} + R_{\text{из}} + R_{\text{возд}} + R_{\text{нар}},$$

где $R_{\text{из}}$ – термическое сопротивление базового слоя,

$R_{\text{возд}}$ – термическое сопротивление воздушного зазора с учетом конвекции и излучения,

$R_{\text{вн}}$ – термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности трубопровода;

$R_{\text{ст}}$ – термическое сопротивление стенки трубопровода,

$R_{\text{нар}}$ – термическое сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности конструкции. Учитывает сопротивление переноса тепла от стенки в наружную среду.

Для зазора эффективное термическое сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{возд}} = \frac{\delta_2}{\lambda_{\text{эфф}}}, \quad \lambda_{\text{эфф}} = \lambda_{\text{возд}} \cdot (1 + 0,5 \cdot Gr^{1/3}),$$

где Gr – число Грасгофа,

$\lambda_{\text{возд}} = 0,026$ Вт/(м·К),

δ_2 – зазор,

$\lambda_{\text{эфф}}$ – эффективная теплопроводность.

При $\delta_2 = 10$ мм и $\Delta T = 30^\circ\text{C}$, $\lambda_{\text{эфф}} = 0,12$ Вт/(м·К), сопротивление зазора увеличивается [4], ΔT – изменение температуры.

Наличие фольги снижает лучистый теплообмен между поверхностью изоляции и окружающей средой. Приведенный коэффициент излучения системы «изоляция – фольга – среда» равняется [5]:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\phi}} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \approx 0,11,$$

где $\varepsilon_{\phi} = 0,05$ для новой фольги;

$\varepsilon_c = 0,9$ для атмосферы.

Это от 8 до 10 раз меньше, чем для неизолированной трубы [1].

Для трубы диаметром 100 мм расчетная зависимость теплового потока q от толщины изоляции δ_1 показала, что при $\delta_1 < 20$ мм решающую роль играет контактное сопротивление, возникающее на границе «труба — изоляция», вследствие неровностей поверхностей, зазоров, воздушных прослоек, отсутствия идеального прилегания. При малой толщине основного слоя изоляции это сопротивление сопоставимо или даже больше сопротивления самой изоляции, а при $\delta_1 > 60$ мм прирост термического сопротивления снижается из-за увеличения наружной поверхности. Прирост общего термического сопротивления с увеличением толщины слоя замедляется. Тепловой поток q перестает заметно снижаться — наступает режим насыщения. Дальнейшее утолщение изоляции экономически нецелесообразно. Критерий экономически оптимальной толщины δ_{opt} находится из условия равенства предельных затрат на материал теплоизоляции:

$$\frac{d}{d\delta_1} (C_{\phi} \cdot q(\delta_1) + C_{из} \cdot \delta_1) = 0.$$

Результаты расчетов оптимальной толщины для разных диаметров сведены в табл. 1.

Таблица 1

Толщина основного слоя ПЭ для комбинированного покрытия.

Наружный диаметр трубопровода, мм	Температура теплоносителя, °С	$\delta_{1 \text{ опт}}$, мм
57	80	30
89	95	40
108	110	45
159	130	55
219	150	65

Рассмотрим влияние воздушного зазора на эффективность теплоизоляции. При отсутствии зазора ($\delta_2 = 0$) фольга прилегает к изоляции, и ее отражающий эффект снижается вследствие теплопроводности через точки контакта [5]. Оптимальная величина δ_2 от 10 до 15 мм для труб диаметром до 200 мм. При большем зазоре начинается интенсивная естественная конвекция, увеличивающая $\lambda_{\text{эфф}}$. Для труб диаметром больше 300 мм эффективно разделение зазора на две полости с помощью промежуточного экрана.

Численное моделирование проводилось для трех вариантов изоляции:

- 1 – из минеральной ваты толщиной 60 мм и плотностью 80 кг/м³;
- 2 – из вспененного полиэтилена толщиной 60 мм;
- 3 – комбинированной: вспененного полиэтилена толщиной 50 мм + воздушный зазор 10 мм + алюминиевая фольга.

Температура теплоносителя – +110°C, диаметр трубы – 108 мм, наружная температура – минус 20°C. Результаты рассматриваемых вариантов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты численного моделирования вариантов теплоизоляции

Вариант	Теплопотери, Вт/м	Температура на поверхности покрытия, °C	Экономия тепла относительно варианта 1, %
1	34,2	12,5	–
2	28,6	8,2	16,4
3	24,1	-2,4 (ниже точки росы, риск конденсата*)	29,5

**в варианте «3» за счет отражения тепла наружная поверхность может охлаждаться ниже 0°C, что требует проверки на конденсатообразование. Для зимних условий это не критично, но для переходных сезонов рекомендуется уменьшать δ_2 до 5 мм или вводить антиконденсатный подогрев.*

Таким образом, комбинированное покрытие обеспечивает минимальные потери, но требует учета влажности при положительных температурах наружного воздуха.

На основе проведенных расчетов предложены следующие параметры комбинированного теплоизоляционного покрытия для промышленных и гражданских трубопроводов:

1. В качестве основного слоя использован вспененный полиэтилен при температуре до 100°C или вспененный каучук при температуре от 100°C до 150°C толщиной δ_1 , выбираемой по табл. 1 для соответствующей

ющего диаметра трубопровода.

2. Воздушный зазор – 10 ± 2 мм, формируемый с помощью профилированных распорок или гофрированной фольги.

3. Отражающий слой – алюминиевая ламинированная бумага толщиной от 0,05 до 0,10 мм с коэффициентом отражения не менее 0,9. Крепление отражающего слоя с основным выполняется внахлест в 100 мм и герметизацией стыков алюминиевым скотчем.

ВЫВОДЫ

Обоснована эффективность комбинированного теплоизоляционного покрытия «вспененный полимер + воздушный зазор + алюминиевая фольга» для трубопроводов с температурой теплоносителя до 150°C.

Определены оптимальные толщины базового слоя от 30 до 65 мм в зависимости от диаметра трубы. Оптимальный воздушный зазор составляет от 10 до 15 мм.

Численное моделирование показало снижение тепловых потерь от 25% до 30 % по сравнению с изоляцией из минеральной ваты и от 12% до 17 % – с однослойным полиэтиленом.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение стабильности отражающих свойств фольги в условиях запыленности и повышенной влажности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В. Н. Теплоснабжение / В. Н. Богословский, А. Н. Сканава. – Москва: Стройиздат, 2018. – 416 с. – ISBN отсутствует.
2. Кувшинов Ю. Я. Энергосбережение в системах теплоснабжения / Ю. Я. Кувшинов. – Самара: СамГТУ, 2020. – 204 с. – ISBN отсутствует.
3. ГОСТ 30732-2020. Трубы стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана в оболочке. Технические условия: межгосударственный стандарт: дата введения 2021-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2020.
4. Васильев Г. П. Моделирование тепловых режимов изолированных трубопроводов / Г. П. Васильев, В. А. Пестряков // Энергосбережение. – 2019. – № 4. – С. 28-34.
5. Шубин И. Л. Комбинированные теплоизоляционные покрытия для трубопроводов / И. Л. Шубин, С. Г. Абрамов // Известия вузов. Строительство. – 2021. – № 6. – С. 45-53.
6. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов: актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 : утвержден и введен

в действие Приказом Минрегиона России от 28.06.2012 № 272 : дата введения 2013-01-01. – Москва: Минрегион России, 2012.

Получено: 05.06.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Лобода В.В.

UDC 621.643:536.48

M. V. KRIVONozHENKOV, senior research worker,

A. I. DEMENKOV, head of laboratory,

N. I. MAYBENKO, junior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF A COMBINED PIPELINE HEAT-INSULATING COATING

In this research paper a combined heat-insulating coating has been suggested containing base layer made of expanded polyethylene or rubber resin and external aluminum foil based reflecting layer. The theoretical justification of optimal layer thickness with consideration to thermal conductivity, humidity conditions and mechanical strength has been conducted. Calculations have demonstrated a 25% to 30% reduction of heat losses as compared to single-layer insulation.

Keywords: heat insulation, pipeline, combined coating, heat losses, thermal conductivity, heat supply.

II. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 622.6; 620.193.23

**В.В. ЛОБОДА, канд. техн. наук, зав. лаб., академик МАНЭБ,
Н.В. МАНЕЦ, мл. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка**

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВОЙ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРЕДВИЖНЫХ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Приведены результаты разработки основных положений принципиально новой концепции построения и функционирования аварийной защиты передвижных винтовых компрессорных установок. Сделаны выводы о необходимости использования на вновь создаваемых установках и при модернизации компрессорных установок новой системы аварийной защиты, обеспечивающей безопасность компрессорных машин.

Ключевые слова: передвижная компрессорная установка, винтовой компрессор, аварийная защита, новая концепция.

Использование на промышленных предприятиях, в т.ч. в угольной промышленности, передвижных винтовых компрессорных установок (ВКУ) производительностью от 5 до 15 м³/мин и их существенное влияние на технологические процессы, связанные с использованием пневмоэнергии, обуславливает необходимость минимизации аварийных ситуаций на ВКУ [1]. Более 80% ВКУ это компрессорные установки маслозаполненного типа (ВКМ), длительная эксплуатация которых приводит к пожароопасным ситуациям, поэтому к их аварийной защите предъявляются особо повышенные требования, обеспечивающие их пожаробезопасность и эксплуатационную надежность [2, 3].

Цель работы – определить основные недостатки аварийной защиты ВКУ, разработать концепцию и обосновать основные положения принципиально новой системы аварийной защиты.

Многолетняя практика эксплуатации передвижных компрессоров, а также проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что аварийная защита, контролирующая рабочую температуру и давление в линии нагнетания, оказалась неэффективной, особенно в условиях повышенной запыленности и влажности окружающей среды, напри-

мер, в угольных шахтах [4]. Защита, во многих случаях, своевременно не предотвращала аварийных ситуаций, обусловленных запаздыванием подачи рабочей жидкости к узлам трения, аварийным ростом температуры сжатия воздуха в пусковых режимах работы ВК, выходом из строя подшипниковых узлов, шестерен редуктора компрессора, заклиниванием винтов в корпусе ВК и др.

Проведенные ГБУ «МАКНИИ» исследования и многолетние экспертные обследования технического состояния передвижных ВКУ, выявили целый ряд недостатков в построении и функционировании их аварийной защиты. Прежде всего, это расположение датчиков тепловой защиты ДТР-3М-УТ и термовыключателей в нагнетательной линии ВК на значительном удалении от мест температурных нарушений, происходящих непосредственно в блоке ВКМ. Такое расположение датчиков не обеспечивает контроль температурного режима работы ВКМ вследствие того, что на датчики воздействует усредненная температура масловоздушного потока в нагнетательной линии компрессора. Поданное в полости сжатия и к узлам трения компрессора охлажденное масло снижает уровень температуры. Для срабатывания тепловой защиты средняя температура масловоздушного потока в линии нагнетания компрессора должна достичь $T_{ав} > 125^{\circ}\text{C}$.

Установлено, что в начальной стадии разрушения подшипников на ведущем винте компрессора температура в местах их размещения может достигать $150\div 180^{\circ}\text{C}$ и более, особенно при разрушении сепараторов с последующим повреждением элементов качения (шариков, роликов), а также при повреждениях внешних обойм. При этом температура потока масловоздушной смеси в нагнетательной линии компрессора в местах установки датчиков температуры длительный период не достигает аварийного значения 125°C , при котором должно произойти срабатывание датчиков тепловой защиты и отключение ВКМ. Это, в свою очередь, во многих случаях приводит к полному разрушению подшипниковых узлов с повреждением посадочных мест для них на валу ведущего винта (ротора), сопровождаемое повышенной вибрацией всего блока и, в конечном итоге, выходом его из строя.

Такая же картина наблюдается и при выходе из строя шестерен редуктора компрессора, шлицевого вала редуктора (у компрессоров ЗИФ-ШВ-5М), а также при трении торцов винтов о корпус ВК и др.

Температурные нагрузки в линии нагнетания ВКМ в местах расположения датчиков температуры и термовыключателей могут быть определены из зависимости [5]:

$$dQ = mC_v dT + dL_0 - C_p T_{n1} G_1 d\tau + C_p T G_2 d\tau, \quad (1)$$

где Q – тепло, подведенное к системе масловоздушной смесью;

m – текущая масса рабочего тела (воздуха) в системе;

C_v – объемная теплоемкость;

T – температура сжатого воздуха;

L_0 – работа, выполняемая вследствие смены объемов рабочих камер и концентрации рабочего тела за счет внешней миграции его элементов;

C_p – удельная массовая изобарная теплоемкость газа;

T_{n1} – абсолютная температура торможения газа в потоке;

G_1 и G_2 – весовые притечки рабочего тела в систему и утечки из нее;

τ – время работы компрессора.

Значение dQ за время $d\tau$ может быть представлено в следующем виде:

$$dQ_\tau = dQ_\Sigma + dQ_T \quad (2)$$

где dQ_Σ – тепло, подведенное к системе;

dQ_T – тепло, выделяющееся внутри системы вследствие диссипативных потерь, возникающих вследствие трения отдельных ее частей между собой и трения газа о стенки корпуса, трубы на линии нагнетания ВК.

Из зависимости (1) определим изменение температуры во времени τ в линии нагнетания ВКМ:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{C_v m} \left(\frac{dQ_\Sigma}{d\tau} - C_v T \frac{dm}{d\tau} - P \frac{dV}{d\tau} + C_p T_{n1} G_1 - C_p T_{n1} G_2 \right). \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет рассчитать изменение температуры во времени в любом сечении линии нагнетания при известных параметрах рабочего тела текущей температуры T и давления P на выходе из ВК. Это дает возможность проанализировать эффективность работы системы аварийной защиты с датчиками ДТР-3М-УТ, установленными на нагнетательной линии ВК, при разных температурах потока сжатого воздуха на выходе из компрессора.

Расчетные и экспериментальные исследования показали, что для достижения аварийной температуры $T_{ав} > 125^\circ\text{C}$ масловоздушной смеси в нагнетательном тракте ВКМ, где расположены датчики температуры, необходимо от 5 до 7 мин, достаточные для прогрева практически всего

масла, циркулирующего в системе охлаждения и смазки компрессора, прежде чем появятся условия для срабатывания датчиков и отключения привода компрессора от электросети при разрушении, например, подшипников на ведущем роторе со стороны всасывания ВК.

Таким образом, существующая на ЗИФ-ШВ-5М, УКВШ-5/7 защита обеспечивает отключение аварийных ситуаций на ВКМ, а не их предотвращение.

ГБУ «МАКНИИ» предложена принципиально новая концепция построения и функционирования системы аварийной защиты (САЭЗ) ВКУ, обеспечивающей предотвращение возможности возникновения аварийно-опасных ситуаций за счет контроля температурных нарушений непосредственно в местах их возникновения.

Реализация данной концепции позволит осуществить модернизацию и существенно повысить эксплуатационную надежность и безопасность передвижных ВКУ. Однако, как показали проведенные исследования, реализовать эту принципиально новую концепцию эффективно невозможно за счет установки датчиков, контролирующих тепловой режим работы, давления и др. в нагнетательной линии компрессора. Кроме того, необходимо разработать специальные технические устройства для САЭЗ, позволяющие не допускать появления и развития аварийно-опасных ситуаций при работе ВКУ, особенно в условиях повышенной запыленности и наличия пожаро-взрывоопасной окружающей среды, например, в угольных шахтах.

Требуемый уровень безопасности обеспечат устройства защиты, прежде всего, блока ВКМ от возникновения повышенной температуры при сжатии воздуха, а также работы узлов трения без смазки и охлаждения в пусковых режимах. Связано это с тем, что при пусках винтового компрессора, особенно после 15 минутного простоя, он работает, как правило, в режиме адиабатного сжатия. Температура адиабатного сжатия в ВКМ может составлять $T_{ад} = 180-200^{\circ}\text{C}$, т.е. значительно превышать допустимую по ПБ 125°C . Поэтому необходимо разработать технические решения, обеспечивающие снижение температуры сжатия воздуха в пусковых режимах ВКМ.

Важной задачей повышения безопасности и надежности работы ВКМ является предотвращение работы его узлов трения без смазки и охлаждения. Это происходит вследствие запаздывания подачи масла из системы смазки в компрессор при пусках, когда масло под давлением из маслосборника, преодолевая гидравлическое сопротивление маслопровода, масляных фильтров и пластинчатого радиатора, поступает в компрессор со значительной задержкой во времени τ_z , которое определяется из [4]:

$$\tau_z = 549,298 - 17,829 (T_{oc}/K_o - 273), \quad (4)$$

где T_{oc} – температура окружающей среды;

K_o – безразмерный коэффициент.

Время запаздывания τ_z при безнасосной циркуляционной системе смазки ВКУ, например, ЗИФ-ШВ-5М или УКВШ-5/7, может достигать 5÷8 мин и более при температуре $T_{oc} < 10^\circ\text{C}$. Чем ниже T_{oc} , тем больше τ_z вследствие роста вязкости масла в системе смазки и, тем больший период времени работы узлов трения компрессора без смазки, ускоряющей их износ и выход из строя всего компрессора. В ряде случаев выход из строя ВКМ приводит к тяжелым последствиям с возникновением пожароопасных ситуаций.

Не менее важным вопросом обеспечения безопасной и надежной работы ВКУ является контроль температурного режима работы узлов ВКМ. Для этого необходимо установить датчики защиты непосредственно в местах возникновения температурных нарушений. Авторами установлены и обоснованы места, в которых необходимо контролировать температурные нарушения непосредственно на блоке винтового компрессора.

Многолетние исследования и анализ экспертных обследований большого количества передвижных ВКУ, позволили разработать основные положения принципиально новой концепции САЭЗ, заключающиеся в:

- предотвращении возможности возникновения аварийных ситуаций на стадии их зарождения;
- отключении ВКМ от электросети при приближении рабочих параметров к максимально допустимым;
- контроле аварийных значений параметров непосредственно в установленных местах возможного возникновения аварийных нарушений при работе ВКУ;
- оснащение специальными устройствами для защиты узлов трения ВКМ при работе без смазки и высоких температурах в пусковых режимах.

Безопасное и надежное функционирование САЭЗ обеспечат функционально независимые защиты:

- датчики, в том числе, тепловой защиты, встроенные в электроцепь управления для воздействия на привод ВКУ;
- пневмозащиту с термовыключателями и специальными устройствами, соединенными пневмолиниями с отключающим ВКУ устройством, а также предохранительные клапаны прямого действия при аварийном давлении сжатого воздуха в полостях установки;
- гидрозащиту с датчиками и специальными устройствами, обеспечивающими безаварийную работу узлов трения ВКМ в пусковых режимах.

Приведенные основные положения новой концепции построения САЭЗ рассмотрены и одобрены организациями, занимающимися безопасностью ВКУ, в т.ч. НПП «Компрессор», ООО «ТС ГРУПП» и др., и будут использованы ГБУ «МАКНИИ» при разработке ТЗ на опытные образцы создаваемых, а также при модернизации уже существующих ВКУ с данной системой защиты.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены недостатки существующей аварийной защиты и разработаны основные положения новой концепции построения и функционирования системы аварийной защиты ВКУ.

ВЫВОДЫ

Выявлены основные недостатки построения и функционирования существующей на ВКУ ЗИФ-ШВ-5М, УКВШ-5/7 и др. компрессорных установках системы их аварийной защиты.

Показано, что существующая на ВКУ система аварийной защиты во многих случаях не обеспечивает своевременное отключение привода компрессора при разрушении ряда его рабочих узлов, в т. ч. подшипников, шестерен редуктора и др.

Разработаны основные положения принципиально новой концепции построения и функционирования системы аварийной защиты ВКУ, направленной на предотвращение возможности возникновения аварийно-опасных ситуаций, а не на прекращение уже возникших аварий, как это осуществляется с помощью существующей аварийной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, Г.А. Винтовые компрессоры в системах обеспечения сжатым воздухом / Г.А. Бондаренко, П.Е. Жарков. – Сумы: Изд-во Сум ГУ, 2003. – 130 с.
2. Анализ причин появления аварийных ситуаций на передвижных винтовых компрессорных установках при их длительной эксплуатации в шахтных условиях при их длительной эксплуатации в шахтных условиях / В.В. Лобода, Н.А. Белоносова, Е.В. Верещагина, Н.В. Манец // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / ГБУ «МАКНИИ». – 2025. – Вып. №1 (68). – С. 70-78.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 507 с изменениями от 01.03.2023. – 113 с.

4. Повышение пожаровзрывобезопасности шахтных винтовых компрессорных установок / В.В. Лобода, О.А. Демченко, Н.В. Манец, О.А. Франчук // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МАКНИИ. – 2017. – Вып. №1 (36). – С. 90 - 103.

5. Лобода, В.В. Повышение надежности и безопасности шахтного винтового компрессора путем нормализации его температурного режима / В.В. Лобода // Стационарное оборудование шахт: сб. науч. тр. / НИИГМ им. М.М.Федорова. – 1987. – С.184 - 195.

Получено: 10.04.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Демченко О.А.

UDC 622.6; 620.193.23

**V. V. LOBODA, Ph. D. Eng., head of laboratory, member of the International Academy of Ecology, Man and Nature Protection Sciences (MANEB),
N. V. MANETS, junior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka**

**LAYING THE GROUNDWORK FOR DEVELOPMENT
AND OPERATION OF A FUNDAMENTALLY NEW
EMERGENCY PROTECTION SYSTEM
OF MOBILE SCREW COMPRESSOR PLANTS**

This research paper presents the results of laying the groundwork of a fundamentally new concept of development and operation of emergency protection system of mobile screw compressor plants. Conclusions are made about the necessity of a new emergency protection system providing the safety of compressor machines as a part of newly designed compressor plants as well as by updating thereof.

Keywords: mobile compressor plant, screw compressor, emergency protection, new concept.

УДК 622.6; 620.193.23

Е.В. ВЕРЕЩАГИНА, науч. сотр.,
Н.В. МАНЕЦ, мл. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка;
В.В. ЛОБОДА, инж.; НПП «Компрессор», г. Донецк

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ВИНТОВЫХ МАСЛОЗАПОЛНЕННЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Представлен анализ влияния винтовых маслозаполненных компрессорных установок на экологическую безопасность при их использовании на промышленных предприятиях. Сделаны выводы о необходимости повышения экологичности работы винтовых маслозаполненных компрессорных установок при их длительной эксплуатации.

Ключевые слова: маслозаполненный винтовой компрессор, исследования, анализ, эксплуатация, экология, безопасность.

Для выработки сжатого воздуха на промышленных предприятиях используют передвижные и полустационарные компрессорные установки с винтовыми компрессорами маслозаполненного типа. На предприятиях горной промышленности, в том числе угольной, широко используются передвижные винтовые компрессорные установки (ВКУ) ЗИФ-ШВ-5М, УКВШ-5/7, ДЭН «Шахтер» и др. [1, 2]. Экологическая безопасность требует соблюдения санитарных норм в отношении содержания масляных аэрозолей в сжатом воздухе, выбрасываемом в рабочую зону при длительной эксплуатации ВКУ, уровня шума на месте их размещения, температурного режима и вибрационных характеристик [3].

Цель работы – установить причины снижения экологической безопасности при длительной эксплуатации передвижных винтовых маслозаполненных компрессорных установок и предложить направления по ее улучшению.

В табл. 1 приведены показатели работы ВКУ ЗИФ-ШВ-5М, УКВШ-5/7, ДЭН «Шахтер», определяющие их экологичность при эксплуатации на промышленных предприятиях, например, угольных шахтах. Однако, как показала многолетняя практика эксплуатации ВКУ ЗИФ-ШВ-5М, УКВШ-5 параметры, приведенные в табл. 1, часто не выдерживаются по объективным и субъективным причинам.

Таблица 1

Показатели экологической безопасности при эксплуатации ВКУ
с компрессорами маслозаполненного типа

Показатели	Единица измерения	Нормативная величина показателя	Нормативный документ	Примечание
Содержание аэрозолей масла в сжатом воздухе	мг/м ³	≤ 5,0	Требования санитарных норм к воздуху в рабочей зоне	Для всех ВКУ
Уровень звука	дБА	≤ 92,0	Руководство по эксплуатации (РЭ)	ЗИФ-ШВ-5М, УКВШ-5/7, ДЭН «Шахтер»
Вибрация	мм/с	3,6	РЭ	ЗИФ-ШВ-5М, УКВШ-5/7, ДЭН «Шахтер»
Температура: – рабочая – аварийная	°С	80 ÷ 100 125	РЭ, ПБ	Для всех ВКУ

К объективным причинам относятся причины, связанные с износом оборудования и приводящие, как правило, к ухудшению всех показателей. Это, в первую очередь, увеличение уноса масла в виде паров и аэрозолей со сжатым воздухом в пневмосеть, связанное с ухудшением работы маслоотделителя компрессора и нарушением его теплового режима.

К субъективным, как правило, относятся причины, связанные с нарушением указаний РЭ ВКУ, например, несвоевременное проведение регламентных работ, в т.ч. по замене фильтрующих элементов маслоотделителя, изношенных подшипниковых узлов и другие.

В табл. 2 приведены данные об изменении содержания масла в пневмосети при эксплуатации ВКУ ЗИФ-ШВ-5М.

Таблица 2

Содержание масла в пневмосети после ВКУ

Давление нагнетания, МПа	Содержание масла в сжатом воздухе, кг/м ³ · 10 ⁻⁶					
	через 100 ч	через 200 ч	через 520 ч	через 900 ч	через 1250 ч	МО промыт
0,45	80,3	81,5	84,3	86,7	замер не проводился	81,2

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
0,50	78,0	79,0	81,3	82,5	замер не проводился	79,5
0,55	69,4	70,9	72,3	73,0	320	71,4
0,60	63,7	64,2	65,4	66,9	320	65,0

Анализ данных табл. 2 показал, что унос масла со сжатым воздухом существенно изменяется при длительной эксплуатации ВКУ и приводит к росту содержания аэрозолей масла в воздухе рабочей зоны и ухудшению условий труда горнорабочих в местах использования пневмоэнергии. Повышенный унос масла со сжатым воздухом в пневмосеть наблюдается не только вследствие ухудшения работы фильтроэлементов маслоотделителя компрессора, но и роста температуры сжатия воздуха в компрессоре. При температуре от 80°C до 100°C происходит резкий рост содержания паров масла в сжатом воздухе пневмосети после компрессора, так как маслоотделитель их практически не улавливает. При этом появляется запах гари в местах потребления сжатого воздуха пневмомеханизмами.

Повышенное содержание аэрозолей и паров масла в воздухе при работе ВКУ негативно влияет на здоровье работников предприятия. Кроме того, происходит загрязнение окружающей среды аэрозолями масла и замасливание поверхностей ВКУ при срабатывании предохранительного клапана в случае аварийного роста давления в линии нагнетания или срабатывании клапана стравливания воздуха из полостей компрессора при его остановках. Выбрасываемые при этом из полостей ВКУ аэрозоли масла создают пожароопасные ситуации в случае чрезмерного разогрева внешних поверхностей, вызванного нарушением температурного режима работы компрессора. Такие аварийные ситуации на ВКУ приводили к тяжелым последствиям. Примером является авария, произошедшая на ВКУ УКВШ-15/7, в выработке шахты им. А.А. Скочинского в 2020 году.

В настоящее время на ВКУ не контролируют унос масла со сжатым воздухом, подаваемым в пневмосеть, однако, как показала практика и проведенные исследования, этому контролю необходимо уделять особое внимание. При этом следует учитывать запыленность и влажность окружающей ВКУ среды, так как они влияют на эффективность работы системы маслоотделения, поэтому достаточно осуществлять периодический контроль уноса масла со сжатым воздухом в пневмосеть после ВКУ. При установке новых фильтроэлементов маслоотделителя компрессора такой

контроль, например, при влажности от 80% до 90% и запыленности окружающей среды в месте расположения ВКУ менее 10 мг/м^3 , целесообразно проводить, как показала практика, через 200 или 250 часов работы. Этот контроль проводят с использованием аллонжей с активированным углем АГ-3 и аналитических фильтров АФА, устанавливаемых в специальном устройстве в отведенном потоке воздуха, что позволяет контролировать не только общее содержание масла в сжатом воздухе, но и содержание жидкой и газообразной фаз масла. При этом контроль не превышает 30 минут.

Активированный уголь в аллонжах задерживает газообразную фазу масла, а аналитические фильтры улавливают частицы угля и масла в потоке воздуха, прошедшего через аллонжи. После измерений аллонжи и фильтры взвешивают на аналитических весах. Увеличение веса аллонжей и аналитических фильтров, по сравнению с их первоначальным весом, определяет количество масла, унесенного в пневмосеть после ВКУ, эффективность работы системы маслоотделения и уровень загрязненности сжатого воздуха, подаваемого потребителям. Это, в свою очередь, позволяет своевременно принять меры по обеспечению экологичности работы ВКУ.

Особое внимание следует уделять шумовым характеристикам ВКУ. Повышение уровня звука сверх допустимых пределов от 80 до 92 дБА наблюдается при износе или некачественной сборке его рабочих узлов после ремонта, а также при нечеткой работе датчика давления и дроссельного клапана в системе регулирования производительности ВКУ.

В зоне работы ВКУ горнорабочими негативно воспринимаются звуки высокой тональности, возникающие вследствие трения металла о металл, например, при аварийном контакте торцов винтов с корпусом компрессора, связанным с ослаблением крепления винтов в корпусе, а в ряде случаев, их тепловым расширением при резком росте температуры в процессе сжатия воздуха [4]. Периодическое проведение измерений шумовых характеристик должно производиться при экспертных обследованиях технического состояния.

Нарушение теплового режима работы ВКУ воздействует на окружающую среду, так как температура окружающего воздуха может достигать 40°C и более при плохом проветривании и ограниченном объеме, в котором эксплуатируется установка. В ряде случаев происходит аварийный рост температуры в процессе сжатия воздуха в компрессоре, что может приводить к чрезмерному разогреву внешних поверхностей блока компрессора, охладителя масла, воздухосборника и создавать пожароопасные ситуации. Температура поверхности, например, блока ВКУ ЗИФ-ШВ-5М, в ряде аварийных случаев, достигала более 120°C и приводила к обуглива-

нию лакокрасочного покрытия, особенно на линии нагнетания.

Для снижения воздействия температурных аномалий на окружающую среду, необходимо проветривать места размещения ВКУ за счет естественной тяги воздуха, омывающего ее, или установки вентилятора местного проветривания. В каждом случае необходимо выполнить расчет теплового режима в месте размещения ВКУ и определить температуру Δt , на которую повысится температура вентиляционной струи, по формуле из [5]:

$$\Delta t = \frac{Q_{ком}}{C_p \cdot 60 \cdot V_{вс} \cdot \gamma_0}, \quad (1)$$

где $Q_{ком}$ – количество тепла, выделяемого компрессором, ккал;

C_p – теплоемкость воздуха при постоянном давлении 0,241 ккал/кг·град.;

$V_{вс}$ – количество всасываемого в компрессор воздуха, м³/мин;

γ_0 – удельный вес 1 м³ воздуха в условиях всасывания, 1,205 кгс·/м³.

Далее необходимо определить температуру вентиляционной струи $t'_{вс}$ в горной выработке в месте установки ВКУ и сравнить ее с допустимой по ПБ [3]. Для угольных шахт $t'_{вс}$ не должна превышать 26°C.

Температура $t'_{вс}$ вентиляционной струи в горной выработке повышается при работающей ВКУ и определяется по формуле:

$$t'_{вс} = t_{ос} + \Delta t, \quad (2)$$

где $t_{ос}$ – температура вентиляционной струи до места установки ВКУ, °C.

При $t'_{вс} > 26^\circ\text{C}$ необходимо принять меры для нормализации теплового режима работы ВКУ, в том числе, путем организации дополнительного проветривания горной выработки.

Следующий негативный фактор работы ВКУ – повышенная вибрация, воздействующая на окружающую среду, в большей степени, опосредованно, изменяя шумовые характеристики и температурный режим работы ВКУ. Повышенная вибрация элементов возникает, как правило, вследствие значительного износа рабочих узлов компрессора, неточной центровки винтовой пары в корпусе, а также при ослаблении крепления узлов и неудовлетворительной центровки полумуфты компрессора и электродвигателя.

Повышенная вибрация рабочих узлов компрессора приводит, во многих случаях, к их разрушению и к возникновению аварийно-опасных ситуаций. Ее устранение достигается за счет качества ремонта и замены

изношенных узлов компрессора.

Таким образом, установлены основные причины, приводящие к ухудшению экологии и безопасности в местах использования ВКУ при ее длительной эксплуатации. Предложены некоторые направления улучшения экологии окружающей среды при работе передвижных винтовых маслозаполненных компрессорных установок.

ВЫВОДЫ

Основными причинами, приводящими к нарушению экологической безопасности при длительной эксплуатации ВКУ, являются: увеличение уноса масла со сжатым воздухом, нарушение теплового режима, шумовых характеристик и уровня вибрации.

Для их устранения необходимо проведение мероприятий, улучшающих экологию в местах использования передвижных ВКУ с компрессорами маслозаполненного типа, в том числе, путем нормализации их теплового режима работы, повышения качества ремонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Г.А. Винтовые компрессоры в системах обеспечения сжатым воздухом / Г.А. Бондаренко, П.Е. Жарков. – Сумы: СумГУ, 2003. – 130 с.
2. Сакун И.А. Винтовые компрессоры / И.А. Сакун. – Ленинград: Машиностроение, 1970. – 400 с.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 507 с изменениями от 01.03.2023. – 113 с.
4. Повышение пожаровзрывобезопасности шахтных винтовых компрессорных установок / В.В. Лобода, О.А. Демченко, О.А. Франчук, Н.В. Манец // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МАКНИИ. – 2017. – Вып. № 1 (36). – С. 90-103.
5. Методика энергетического обследования угольных шахт, эксплуатирующих оборудование, отработавшее нормативный срок службы / В.В. Лобода, В.А. Стешенко, Н.А. Белоносова, Е.В. Верещагина. – Макеевка: МАКНИИ, 2022. – 6 с.

Получено: 27.05.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.6; 620.193.23

E. V. VERESHCHAGINA, *research worker,*
N. V. MANETS, *junior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka;*
V. V. LOBODA, *engineer; NPP Kompressor, Donetsk*

**PROVISION OF ENVIRONMENTAL SAFETY
AT INDUSTRIAL ENTERPRISES DURING CONTINUOUS
OPERATION OF MOBILE SCREW OIL-FILLED COMPRESSOR
PLANTS**

This research paper presents the analysis of the impact of screw oil-filled compressor plants on environmental safety during their operation at industrial enterprises. Conclusions have been made about the necessity of increase of ecological compatibility of operation of screw oil-filled compressor plants during their continuous operation.

Keywords: oil-filled screw compressor, investigations, analysis, operation, ecology, safety.

УДК 622.6; 620.193.23

**Н.В. МАНЕЦ, мл. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка,
В.В. ЛОБОДА, инж.; НПП «Компрессор», г. Донецк,
С.Н. ТРЕТЬЯКОВ, инж.; ООО «ТС ГРУПП», г. Донецк**

НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРЕДВИЖНЫХ ВИНТОВЫХ МАСЛОЗАПОЛНЕННЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Приведен анализ основных причин выхода из строя компрессорных установок, используемых на промышленных предприятиях. Выявлены недостатки аварийной защиты винтовых компрессорных установок и показана необходимость ее совершенствования.

Ключевые слова: передвижная компрессорная установка, винтовой маслозаполненный компрессор, аварийная защита, анализ, промышленное предприятие.

Передвижные компрессорные установки (ПКУ) производительностью 5, 7, 10, 15 м³/мин, вырабатывающие сжатый воздух, используются практически на всех промышленных предприятиях, в т. ч. в горной промышленности. Пневмоэнергия является незаменимой в технологических процессах на предприятиях народного хозяйства. В настоящее время более 80% всего парка ПКУ составляют винтовые маслозаполненные компрессорные установки [1].

Применение в составе ПКУ винтовых компрессоров маслозаполненного типа (ВКМ) обусловлено простотой их изготовления и обслуживания по сравнению с другими компрессорными машинами [2]. Однако эти машины являются пожароопасными вследствие использования горючих нефтяных масел, поэтому к их аварийной защите предъявляются повышенные требования для обеспечения безопасности их эксплуатации. Как показала практика, существующая защита не всегда предотвращает аварийные ситуации при разрушении рабочих узлов и компрессорные установки выходят из строя, иногда с тяжелыми последствиями. Подтверждением этому является обследование авторами более 120 ПКУ марок ЗИФ-ШВ-5М, УКВШ-5/7, УКВШ-10/7, УКВШ-15/7, вышедших из строя в процессе длительной эксплуатации. Поэтому актуально определение причин неэффективности защиты.

Цель работы – установить основные причины выхода из строя ПКУ с

винтовыми маслозаполненными компрессорами и вскрыть недостатки работы их аварийной защиты.

При обследовании компрессорных установок, поступивших для ремонта на предприятие «Компрессор», установлены основные причины выхода из строя ПКУ, например, марки ЗИФ-ШВ-5М и УКВШ-5/7, отработавших на угольных шахтах от 3 до 7 лет. Во многих случаях, основной причиной прекращения работы ПКУ является выход из строя блока винтового компрессора (ВК). Наиболее часто разрушались подшипниковые узлы на ведущем роторе компрессора, а также большая и малая шестерни редуктора, заклинивалась винтовая пара в корпусе с образованием кольцевых бороздок глубиной от 0,5 до 1,0 мм на внутренней поверхности опоры корпуса. Отмечены нередкие случаи выгорания масла с образованием нагаромасляных отложений на внутренней поверхности дроссельного клапана и во всасывающей камере винтового компрессора, при этом наблюдалась тепловая деформация поджимающей пружины под тарелью уплотнительного устройства и обугливание резинового уплотнительного кольца дроссельного клапана.

Особо следует отметить наличие повреждений профиля винтовой пары компрессора в виде глубоких бороздок до 1,5 мм и вспучиваний до 0,5 мм, а также повреждений посадочных мест для подшипников на ведущем роторе компрессора и существенный износ уплотнительных «гребешков» ведущего ротора. В таблице приведены результаты обследования технического состояния 121 блока винтовых компрессоров ПКУ марки ЗИФ-ШВ-5М и УКВШ-5/7.

Анализ таблицы показал, что наиболее часто выходят из строя блоки винтовых компрессоров вследствие разрушения подшипников ведущего ротора (43 %) и температурных нарушений, сопровождаемые расширением винтов и подработкой корпусных деталей (21 %). Не менее значимыми являются повреждения шестерней редуктора (31 %) вследствие чего компрессор полностью выходит из строя и требует капитального ремонта.

Следует особо отметить, что из 121 единицы обследованных ПКУ, только у 12 – обнаружены повреждения непосредственно элементов аварийной защиты: датчиков ДТР-3М-УТ (7 шт.) и термовыключателей (12 шт.). Таким образом, в аварийных ситуациях, произошедших непосредственно на блоке винтового компрессора, защита, представленная датчиками температуры ДТР-3М-УТ и термовыключателями, расположенными на линии нагнетания и на линии всасывания ВК, не сработала.

Это говорит о неэффективности защиты, контролирующей температурные нарушения рабочих параметров датчиками температуры, установленными в нагнетательной линии ВКМ, так как они установлены на значи-

тельном удалении от мест возникновения температурных нарушений, происходящих вследствие разрушения рабочих узлов ВК.

Таблица

Результаты обследования технического состояния блоков винтовых компрессоров ПКУ ЗИФ-ШВ-5М и УКВШ-5/7

Наименование рабочего узла, детали компрессорного блока	Кол-во поврежденных рабочих узлов (шт.)	Вид неисправностей	Кол-во единиц с установленной неисправностью (шт.)	Всего, % от общего количества неисправностей	Всего, % от общего кол-ва обследованных компрессорных блоков (121 шт.)
1	2	3	4	5	6
Ведущий ротор в сборе с подшипниками и малой шестерней	5	Разрушение подшипников	52	61	43
		Повреждение профиля винта	36	42	30
		Повреждение посадочных мест для подшипников	13	15	11
		Цвета побежалости	37	44	31
		Обрыв хвостовой части вала с малой шестерней	3	4	2
Ведомый ротор компрессора в сборе с подшипниками	36	Разрушение подшипников	11	31	9
		Повреждение посадочных мест для подшипников	5	14	4
		Повреждение профиля винта	34	94	28
		Цвета побежалости на профиле винта	28	78	23
Корпус винтового компрессора	48	Подработка корпуса на стороне линии всасывания ведущим винтом	26	54	21
		Подработка расточек корпуса винтами в рабочей полости	32	67	26
		Подработка опоры корпуса винта у окна нагнетания	19	40	16

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Редуктор компрессора	52	Повреждение шестерни и колеса	37	71	31
		Выход из строя шлицевого вала	9	17	7
		Засорение форсунок	18	35	15
		Выход из строя подшипников	24	46	20
Аварийная защита ПКУ: -Датчики ДТР-3М-УТ - Термовыключатели	19	– Обрыв цепи датчика;	7	37	6
		– Повреждение радиатора.	12	63	10

На рис. 1 приведен общий вид повреждений малой шестерни редуктора компрессорного блока ЗИФ-ШВ-5М, восстановление которой невозможно.



Рис. 1. Общий вид повреждений малой шестерни редуктора компрессорного блока ЗИФ-ШВ-5М

Так, при пусках ВК возникает повышенная температура в конце процесса сжатия в парной полости винтов компрессора перед окном нагнетания. Это объясняется сжатием воздуха в компрессоре без охлаждения в течение определенного периода времени, до тех пор, пока в рабочую полость компрессора не поступит масло из системы смазки [3]. При этом в ком-

прессоре происходит адиабатное (без охлаждения) сжатие воздуха. Температура процесса сжатия в пусковом режиме работы в полостях ВК может значительно превышать по ПБ допустимую 125°C для ВКМ.

На рис. 2 показана осциллограмма температуры воздуха в пусковом режиме ВКМ.

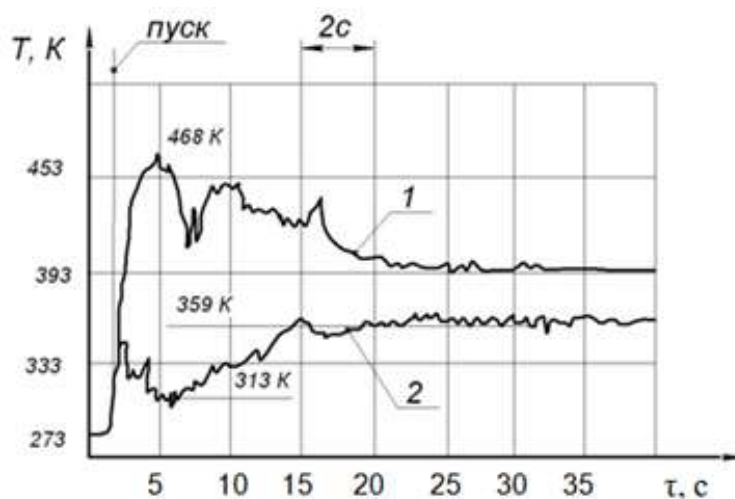


Рис. 2. Осциллограмма температуры воздуха и масла в ВКМШ с момента его пуска до установившегося режима:
1 – температура воздуха; 2 – температура масла;
ПУСК – пуск системы; T – температура, $^{\circ}\text{K}$; τ – время, с

Из осциллограммы видно, что температура в рабочей полости ВК при пуске может достигать $T_{\text{п}} \geq 185^{\circ}\text{C}$. Это объясняет наличие цветов побежалости и пригаров масла на профильной поверхности винтов непосредственно у окна нагнетания компрессора в случае, когда масло попадает на очень разогретую деталь. Но при этом в большинстве случаев аварийная защита на это температурное нарушение не срабатывала, так как в нагнетательной линии температура сжатого воздуха снижена вследствие его смешения с маслом после впрыска в ВК и охлаждения корпусными деталями.

Эта причина несрабатывания аварийной защиты характерна и при разрушении подшипниковых узлов и шестерней редуктора компрессора, а также при задержке подачи рабочей жидкости для смазки и охлаждения узлов трения в нем. В процессе длительной эксплуатации это приводит к росту аварийности ПКУ, влияющей на безопасность обслуживающего персонала и предприятия.

Таким образом, существующая в настоящее время аварийная защита

ПКУ с ВКМ неэффективна, особенно при длительной эксплуатации винтовых компрессорных установок, когда наблюдается естественный износ и разрушение их рабочих узлов и деталей, приводящие к аварийным ситуациям с полным выходом из строя этих компрессорных машин.

Приходим к выводу, что требуется совершенствование и проведение модернизации существующей аварийной защиты передвижных винтовых маслозаполненных компрессорных установок, эксплуатируемых на промышленных предприятиях.

ВЫВОДЫ

При длительной эксплуатации передвижных винтовых маслозаполненных компрессорных установок на промышленных предприятиях растет вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с ненадежной и неэффективной работой их аварийной защиты.

Существующая в настоящее время аварийная защита передвижных винтовых маслозаполненных компрессорных установок требует совершенствования и модернизации для повышения ее надежности и эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Г.А. Винтовые компрессоры в системах обеспечения сжатым воздухом / Г.А. Бондаренко, П.Е. Жарков. – Сумы: Из-во СумГУ, 2003. – 130 с.
2. Сакун И.А. Винтовые компрессоры / И.А. Сакун. – Ленинград: Машиностроение, 1970. – 400 с.
3. Лобода В.В. Повышение надежности и безопасности шахтного винтового компрессора путем нормализации его температурного режима / В.В. Лобода // Стационарное оборудование шахт: сб. науч. тр. / НИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1987. – С.184-195.
4. О принципиально новой системе аварийной защиты шахтных передвижных винтовых маслозаполненных компрессорных установок / В.В. Лобода, Н.А. Белоносова, Н.В. Манец, Е.В. Верещагина, Д.П. Гаврюхин // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб./ ГБУ «МАКНИИ». – 2026. – № 1 (72). – С. 55-63.

Получено: 15.04.26

Рекомендовал в публикации канд. техн. наук Демченко О.А.

UDC 622.6; 620.193.23

N. V. MANETS, *junior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka,*
V. V. LOBODA, *engineer; NPP Kompressor, Donetsk,*
S. N. TRETYAKOV, *engineer; OOO TS GRUPP, Donetsk*

**NECESSITY OF UPGRADING OF EMERGENCY PROTECTION
OF MOBILE SCREW OIL-FILLED COMPRESSOR PLANTS**

This research paper presents the analysis of main causes of failure of compressor plants used at manufacturing enterprises. The disadvantages of emergency protection of screw compressor plants have been detected; the necessity of its upgrading has been demonstrated.

Keywords: mobile compressor plant, screw oil-filled compressor, emergency protection, analysis, manufacturing enterprise.

УДК 621.316.93:622.691

И.П. ГОРОШКО, зав. отд.,
Р.А. ПАРХОМЕНКО, зав. лаб.,
В.В. ДИДЕНКО, канд. техн. наук, зав лаб.,
В.А. ГАВРИЛКО, ст. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка,
Д.А. ЛИСИЦЫН, гл. конструктор проекта;
ГБУ «Автоматгормаш», г. Донецк

ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УЧАСТКОВЫХ СЕТЕЙ 3,3 кВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Обобщены нормативные требования к устройствам защиты от поражения током персонала, обслуживающего электроустановки участковых сетей напряжением 3,3 кВ.

Ключевые слова: электробезопасность, аппараты защиты, технические требования, участковые сети 3,3 кВ, угольная шахта.

В связи с ростом энерговооруженности высокопроизводительных добычных участков на современных угольных шахтах для их электрообеспечения начали применять напряжение 3,3 кВ, использование которого предъявляет повышенные требования к безопасности его применения. Аппараты защиты (АЗ) от утечек тока на землю АЗО-3 [1] и АЗУР-5 [2] повышают взрывопожаробезопасность эксплуатации в сетях напряжением 3,3 кВ, однако защита человека от поражения электротоком этими аппаратами не предусмотрена.

Вследствие отсутствия устройств защиты от поражения электротоком безопасность эксплуатации участковых сетей напряжением 3,3 кВ выполняется лишь организационными мероприятиями.

Для подземных сетей напряжением 380 – 1140 В действуют нормативные документы, регламентирующие условия применения и параметры АЗ, при которых ими обеспечивается электробезопасность персонала. Так, согласно [3] в сетях напряжением 1140 В сопротивление срабатывания АЗ при симметричной утечке составляет не менее 60 кОм, общая емкость защищаемой сети не превышает 1 мкФ/фазу, наибольший длительный ток утечки не превышает 0,025 А, кратковременный ток, проходящий через тело человека, не должен превышать 0,1 А. Собственное время срабатывания при сопротивлении однофазной утечки 1 кОм должно быть не более 0,07 с, при этом количество электричества не должно превышать 50 мА·с.

Для АЗ сетей напряжением 380-660 в [3] изложены конкретные параметры срабатывания, в полной мере обеспечивающие электробезопасность обслуживающего персонала.

Следует отметить, что до настоящего времени требования электробезопасности для участков сетей угольных шахт напряжением 3,3 кВ разработаны не в полном объеме, поэтому их разработка актуальна.

Цель работы – разработка требований к аппаратам защиты от утечек тока, обеспечивающих защиту человека от поражения электротоком в участках сетях напряжением 3,3 кВ.

Проанализируем требования, регламентирующие безопасную эксплуатацию электрооборудования в участках сетях напряжением 3,3 кВ.

Так, в [4] изложено, что защита от поражения электрическим током, при обслуживании электрооборудования напряжением 3,3 кВ для забойных машин, осуществляется заземлением и контролем сопротивления его цепи. При этом длительно допустимый ток, проходящий через тело человека, прикоснувшегося к корпусу машины, оказавшемуся под напряжением при однофазном замыкании на землю, не должен превышать 0,025 А.

Кроме защитного заземления, защита должна осуществляться АЗ от утечек тока на землю с автоматическим отключением поврежденной сети.

В [5] приведено требование, согласно которому в шахтных электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением до 3,3 кВ должно производиться автоматическое отключение питания при снижении сопротивления изоляции электрооборудования. Сопротивление срабатывания устройств для контроля изоляции при асимметричном снижении ее сопротивления в сетях напряжением 3,3 кВ должно составлять 80 кОм. Напряжение источника измерительного тока устройства для контроля, накладываемое на напряжение сети, не должно превышать 100 В.

Собственное время срабатывания АЗ при сопротивлении утечки 1 кОм и емкости 1 мкФ/фазу при напряжении сети выше 1140 В должно быть не более 0,1 с.

Сопротивление срабатывания блокировки от включения напряжения на отходящее присоединение при снижении сопротивления изоляции составляет 120 кОм. Параметры выходных цепей блокировки должны быть искробезопасными с учетом емкости присоединенного кабеля.

В [5] вызывает сомнение правильность выбранного значения величины напряжения источника измерительного тока, накладываемого на напряжение сети 3,3 кВ. Согласно п.4.2.6 [3] напряжение источника измерительного тока в АЗ для сетей напряжением до 1140В не должно превышать фазное напряжение сети. В АЗ АЗО-3 напряжение источника измерительного тока 500В. С точки зрения электробезопасности, целесообразность снижения напряжения источника измерительного тока вызывает со-

мнение.

Измерения проводят в сети, находящейся под силовым напряжением, поэтому измерить сопротивление изоляции, выполненной для кабелей из этиленпропиленовой резины, по нашему мнению, при напряжении источника измерительного тока равного 100В и рабочем напряжении сети 3,3кВ практически невозможно.

Для определения напряжения источников оперативного тока, использовалась формула:

$$U_{\text{изм.}} = \frac{k_y k_k}{k_n} U_{\text{имп.}}, \text{ В} \quad (1)$$

где k – коэффициент, равный отношению амплитуд пробивных напряжений изоляции при постоянном и переменном напряжениях;

k_k – коэффициент, учитывающий старение изоляции в процессе эксплуатации;

k_n – коэффициент импульса, равный отношению:

$$k_n = \frac{U_{\text{имп.}}}{U_{50\Gamma\text{ц}}}, \quad (2)$$

где $U_{50\Gamma\text{ц}}$ – амплитудное значение переменного пробивного напряжения, В.

Согласно [6] для новой изоляции $k_y = 2,0$, $k_k = 0,8$, а величина k_n зависит от вида импульса и от свойства изоляции, $k_n = 1,7$ для твердой изоляции. Напряжение импульса определяется по формуле:

$$U_{\text{имп.}} = \sqrt{2} \left(\frac{U_{\text{ном.}}}{\sqrt{3}} \right) k \text{ В}, \quad (3)$$

где k – допустимая кратность коммутационных перенапряжений, равная 3;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, В.

Расчетное значение напряжения контроля для электрооборудования напряжением 3,3 кВ согласно (3) 3,45 кВ, т.е. при этом напряжении гарантировано обнаружение повреждения изоляции в кабеле или электроустановке.

В общем случае, условия электробезопасности сетей, если не учитывать физиологическое и психологическое состояние человека, зависят, в основном, от тока, проходящего через тело человека, напряжения прикосновения и времени воздействия указанных величин [7].

Ток, протекающий через тело человека при прикосновении к токове-

дущим частям одной из фаз сети с изолированной нейтралью, определяется по формуле:

$$I_{\text{ч}} = 3U_{\text{ф}} \frac{\sqrt{(3r+R+3\omega^2 C^2 R^2 r)^2 + [\omega CR(3r+R) - 3\omega C R r]^2}}{(3r+R)^2 + (3\omega C R r)^2}, \quad (4)$$

где R, C – активное сопротивление и емкость изоляции фазы сети относительно земли;

r – сопротивление тела человека, принятое чисто активным.

На рисунке приведена кривая допустимого кратковременного тока, протекающего через тело человека в зависимости от времени воздействия [7].

$$I_{\text{ч.к.}} = 116 / \sqrt{t}, \text{ A.}$$

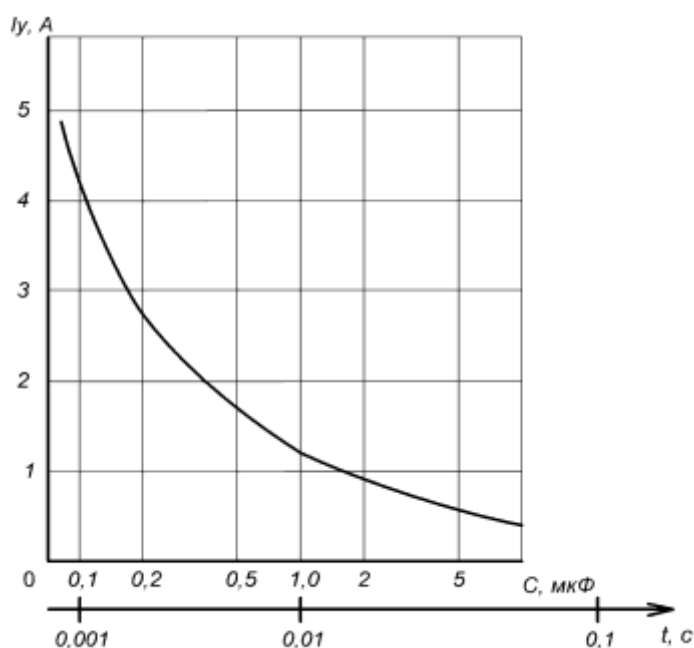


Рисунок – Допустимый кратковременный ток, протекающий через тело человека в зависимости от времени воздействия

Анализ зависимости показывает, что ток не противоречит предельно допустимым нормам, приведенным в табл. 2 [8] при продолжительности воздействия от 0,01 до 0,08 с.

Безопасность прикосновения к фазе сети обеспечивается, если защита срабатывает за время [9]:

$$T_0 = t_z + t_n \leq T_{\text{доп}}, \quad (5)$$

где T_0 – время протекания тока через тело человека, с;

t_z – полное время срабатывания защиты, состоящее из времени выбора поврежденной фазы и времени закорачивания на землю, с;

t_n – время затухания переходного процесса после закорачивания, с;

$T_{\text{доп}}$ – кратковременно-допустимое время протекания тока через тело человека, с.

Кардинальное решение вопроса защиты человека от поражения током возможно за счет применения быстродействующего защитного отключения с шунтированием поврежденной фазы на землю малым сопротивлением, ограничивающим длительность времени воздействия тока на человека.

Согласно [10-12] схемы участкового электроснабжения очистных забоев напряжением 3,3 кВ являются обособленными, причем длина лавы составляет от 250 до 300 м, например, шахт «Таллиннская–Западная 1» и «Костромовская». Для электроснабжения этих лав применяются кабели ТОФЛЕКС КГШРЭПП, ТОФЛЕКС КГШРЭПВ ООО «Томсккабель» сечением 95 мм² [13]. Удельная емкость силовых жил этих кабелей составляет 0,6 мкФ/км. При длине лавы 300 м длина кабеля составляет 450 м, а удельная емкость составляет 0,27 мкФ/фазу.

Анализ [14] показал, что допустимое время воздействия тока на человека при прикосновении к токоведущей части электроустановок в действующих добычных участках напряжением 3,3 кВ, составляет до 80 мс включительно. Если время воздействия тока на человека превышает указанное, необходимо принять дополнительные меры защиты, такие как быстродействующее защитное отключение или шунтирование поврежденной фазы на землю.

ВЫВОДЫ

Современные технические средства позволяют обеспечить устойчивую работу участкового электрооборудования на напряжение 3,3 кВ и защиту человека от поражения электротоком при его прикосновении непосредственно к токоведущей части, сократив время протекания тока через тело человека до 0,08 с.

По нашему мнению, при разработке аппаратов защиты от утечек тока на землю для сетей напряжением 3,3 кВ необходимо учитывать реальную емкость сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппараты общесетевой защиты от утечек тока на землю напряжением 3 кВ АЗО-3. ТУ У 31.2-00165675-032:2006. – Макеевка: НПП МЗША, 2006. – 29 с.
2. Аппарат защиты от токов утечки в рудничных электрических сетях АЗУР.5. ЭААЯ.674251.002 РЭ. – Донецк: ДЭТЗ, 2011. – 12 с.
3. ГОСТ 31612-2012. Устройства защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические требования: межгосударственный стандарт: дата введения 2013-02-15 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2013 – 16 с.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по электроснабжению угольных шахт». «Электроснабжение, выбор и проверка электрических аппаратов, кабелей и устройств релейной защиты в участковых сетях шахт (рудников) напряжением 3300 В». Приказ № 429 от 28 октября 2020г. – 17 с. (51)
5. ГОСТ 33968-2016. Защита от сверхтоков и контроль изоляции рудничного электрооборудования: межгосударственный стандарт: дата введения 2018-03-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 11 с.
6. Костенко М.В. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для вузов / М.В. Костенко. – Москва: Высшая школа, 1973. – 528 с.
7. Разумный Ю.Т. Повышение эффективности электроснабжения угольных шахт / Ю.Т. Разумный, Ф.П. Шкрабец. – Киев: Техника, 1986. – 135 с.
8. ГОСТ Р 12.1.038-2024. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 2024-06-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Российский институт стандартизации, 2024. – 15 с.
9. Ягудаев Б.М. Защита от электропоражения в горной промышленности /Б.М. Ягудаев, Н.Ф. Шишкин, В.В. Назаров. – Москва: Недра, 1982. – 152 с.
10. Плащанский Л. А., Беляк В. Л. Анализ технологических схем с целью рационального электроснабжения участков угольных шахт при напряжении 3 (3,3) кВ [Электронный ресурс] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tehnologicheskikh-shem-s-tselyu-ratsionalnogo-elektrosnabzheniya-uchastkov-ugolnyh-shaht-pri-napryazhenii-3-3-kv> (дата обращения: 13.01.2026).

11. Расчет схемы электроснабжения напряжением 3000(3300) В. Проект электроснабжения шахты [Электронный ресурс] // Studbooks.net : электрон. б-ка студ. работ. – URL: https://studbooks.net/2083555/matematika_himiya_fizika/raschet_shemy_elektr_osnabzheniya_napryazheniem_30003300v (дата обращения: 14.01.2026).

12. Ордин А. А. Обоснование оптимальной длины и производительности очистного забоя при отработке мощного угольного пласта шахты «Талдинская-Западная-1» / А. А. Ордин, А. М. Тимошенко, Д. Н. Ботвенко, В. В. Сизов // Уголь. – 2019. – № 3. – С. 45–50. – DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-45-50. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-optimalnoy-dliny-i-proizvoditelnosti-ochistnogo-zaboya-pri-otrabotke-moschnogo-ugolnogo-plasta-shahty-taldinskaya> (дата обращения: 14.01.2026).

13. [Каталог продукции ТОФЛЕКС [Электронный ресурс] / ООО «Томсккабель». – Томск, 2022. – 1 электрон. опт. диск (PDF-файл). – Режим доступа: <https://tomskcable.ru/production/printed> (дата обращения: 14.01.2026).

14. Определение граничных параметров емкостной составляющей токов утечки на землю, обеспечивающих электробезопасность шахтных участковых сетей 3,3 кВ / А.Ю. Гладков, И.П. Горошко, В.А. Гаврилко [и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / ГБУ «МАКНИИ». – 2025. – Вып. № 2 (69). – С. 49-57.

Получено: 07.04.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Демченко О.А.

UDC 621.316.93:622.691

**I. P. GOROSHKO, head of department,
R. A. PARKHOMENKO, head of laboratory,
V. V. DIDENKO, Ph. D. Eng., head of laboratory,
V. A. GAVRILKO, senior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka,
D. A. LISITSYN, project chief designer;
GBU Avtomatgormash im. V. A. Antipova, Donetsk**

PROVISION OF ELECTRICAL SAFETY OF CIRCUIT BRANCHES WITH THE VOLTAGE OF 3.3 KV IN COAL MINES

This research paper presents the summary of specified requirements to protection devices against electric shock for personnel operating electrical installations of circuit branches with the voltage of 3.3 kV.

Keywords: electrical safety, protective devices, specifications, circuit branches with the voltage of 3.3 kV, coal mine.

УДК 621.317.18

А.Ю. КАРПОВСКИЙ, первый зам. директора по науч. работе;
ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», г. Донецк,
В.В. ДИДЕНКО, канд. техн. наук, зав. лаб.;
ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка,
Д.А. ЛИСИЦЫН, гл. конструктор проекта,
С.В. СВИСТЕЛЬНИК, ведущий инж.,
А.Д. ОРЛОВ, инж. – конструктор;
ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», г. Донецк

ОБ УСТРОЙСТВЕ С ОПТИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКОЙ ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ

Приведены результаты исследования устройства для согласования сигналов напряжений и токов высоковольтной сети с аналого-цифровым преобразователем вычислительного устройства. При лабораторных испытаниях оценена нелинейность и инерционность устройства, предназначенного для обнаружения аварийных режимов на стадии их развития в участковых сетях.

Ключевые слова: блок оптронной развязки, согласование сигналов, двуполярный сигнал, аналогово-цифровое преобразование, вычислительное устройство.

Современные устройства в области электрических защит претерпели большие технические и конструктивные изменения в результате появления новой элементной базы. Значительно улучшились не только технические характеристики этих устройств, но и возросли требования к ним [1–3]. В настоящее время многие приборы и системы электрозащиты содержат вычислительные устройства, представляющие собой микроконтроллеры [4]. Они обрабатывают поступающие на их входы сигналы и, в соответствии с заданным алгоритмом, автоматически подают сигнал средствам коммутации при отличных от нормальных режимов работы питающей сети.

При измерении высоковольтных сигналов сети требуется согласование их уровней по напряжению. Известны три основных способа согласования приходящего на АЦП сигнала:

– первый – с помощью делителя напряжения. Способ позволяет согласовать уровень входного сигнала с диапазоном измерений АЦП и обес-

печить минимальную нелинейность, однако гальваническая развязка отсутствует;

– второй – с помощью трансформатора. Способ позволяет преобразовать высоковольтный входной в низковольтный выходной сигнал для работы АЦП, однако происходит задержка сигнала;

– третий – с помощью оптической развязки, обеспечивающей безопасное согласование сигналов с АЦП и усиление сигнала в широком диапазоне частот.

Поэтому актуальным является создание устройства, использующего оптическую развязку для согласования сигналов с АЦП.

Цель работы – исследование времени задержки сигнала блоком оптической развязки методом тестирования.

На рис. 1 представлена общая схема экспериментального образца устройства для быстросействующего обнаружения аварийных режимов работы участковой сети, содержащего блоки опторазвязки и вычислительное устройство.

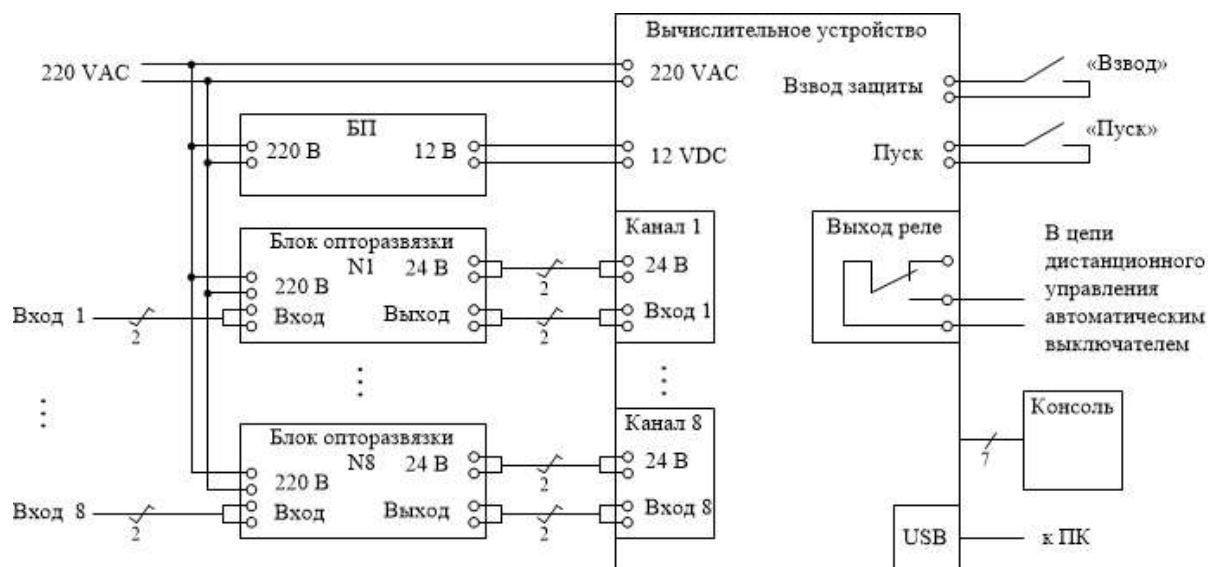


Рис. 1. Схема общая экспериментального образца устройства для быстросействующего обнаружения аварийных режимов работы участковой сети

Контроль параметров сети начинается после кратковременного замыкания внешнего контакта «Взвод».

Питание экспериментального образца устройства осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц для питания аналоговых цепей и от стабилизированного блока питания БП-12 для работы дискретных цепей. В экспериментальном образце предусмотрена установка от одного до восьми блоков опторазвязки.

На входы блоков опторазвязки поступают сигналы датчиков тока и напряжения, расположенных в электрооборудовании участковой сети, а их выходной сигнал поступает на вычислительное устройство. По показаниям этих сигналов вычислительное устройство отслеживает работу сети, и детектирует нештатные и аварийные ситуации, при этом сигнал вычислительного устройства подается на отключение участковой сети.

Экспериментальный образец устройства представляет интегрированную вычислительную систему, обеспечивающую мониторинг широкого спектра параметров в процессе проведения испытаний.

При помощи USB-интерфейса осуществляется изменение программных параметров.

Конечной целью работы устройства является быстросредействующая реакция на появление в участковой сети утечек тока на землю или короткого замыкания [5].

На рис. 2 представлена принципиальная электрическая схема блока опторазвязки.

Двуполярное напряжение поступает на входы первого каскада **DA1.1** операционного усилителя **DA1** через делитель напряжения, состоящий из резисторов **R1** и **R2**, а также защитные полупроводниковые диоды **VD2** и **VD3**. Питание сдвоенного операционного усилителя **DA1** осуществляет блок питания. Напряжение сети понижает трансформатор **TV1** и с помощью диодного моста подается на входы микросхем **DA3** и **DA4**, преобразующие нестабильный двуполярный ток напряжением 15 В в стабильный постоянный двуполярный ток напряжением +12 и –12 В соответственно. Резистор **R14** и светодиод **HL1**, имеющий зеленый цвет, выполняют индикацию работы блока питания.

Прецизионный источник опорного напряжения +5 В осуществляет сдвиг синусоиды напряжения для корректной работы оптопары **V1**. Гальваническая развязка схемы выполнена при помощи трансформатора **TV1** и оптрона **V1**. В оптопаре **V1** модели **IL300-DEFG** используется один светодиод с выводами 1, 2, а также два фотодиода с выводами 3, 4 и 5, 6 соответственно. Фотодиод с выводами 5, 6 предназначен для подачи преобразованного однополярного гальванически развязанного сигнала на вход схемы усилителя, а с выводами 3 и 4 – для схемы обратной связи с входом второго каскада **DA1.2** операционного усилителя **DA1** для компенсации нелинейности работы оптопары.



Питание усилителя сигнала поступает от внешнего блока питания 21В, находящегося в вычислительном устройстве (рис. 1). При помощи резистора R24 и светодиода *HL2*, имеющего зеленый цвет, происходит индикация работы усилителя. Со стабилизатора напряжения DA6 ток напряжением +12 В поступает на источник опорного напряжения DA5 и операционный усилитель DA7 для усиления преобразованного однополярного аналогового сигнала с фотодиода с выводами 5, 6. Делитель напряжения, состоящий из резисторов R22 и R23, понижает напряжение выходного сигнала до безопасного уровня для АЦП вычислительного устройства. Таким образом, на выходе блока опторазвязки имеем преобразованный однополярный аналоговый синусоидальный сигнал с амплитудой напряжения 3,2 – 3,3 В для работы АЦП вычислительного устройства.

Наладка работы блока опторазвязки выполняется с использованием следующих элементов настройки:

- делителя напряжения на резисторах R1 и R2 (резистор R2 неизменный, настройка методом подбора номинала R1);
- резисторов R15 и R16 для выбора тока светодиода оптрона;
- резистора R13 для обратной связи фотодиода оптрона;
- резистора R9 для смещения сигнала в первом каскаде операционного усилителя DA1;
- резистора R18 для смещения сигнала с фотодиода оптрона с выводами 5, 6 в низковольтной схеме;
- резисторов R17 и R21 для изменения коэффициента усиления выходного сигнала;
- делителем напряжения R22 и R23 для регулирования амплитуды выходного сигнала.

Для исследования времени задержки сигнала блоком опторазвязки методом тестирования разработана схема подключения блока опторазвязки, представленная на рис. 3.

Необходимо отметить, что в системе электроснабжения участковой сети при включении и отключении электрооборудования, а также при КЗ в сети возникают искажения синусоидального напряжения 50 герц. Поэтому работоспособность экспериментального образца устройства необходимо проводить на разных частотах.

Напряжение 220 В 50 Гц поступает на вход блока опторазвязки для питания операционного усилителя и на вход блока питания для схемы усилителя блока опторазвязки в низковольтной части схемы (рис. 2). Генератор сигналов соединен с входом блока опторазвязки и генерирует синусоидальные сигналы разной частоты. Для тестирования блока опторазвязки был принят синусоидальный сигнал амплитудой 2,5 В при частотах 50 Гц,

1 кГц, 10 кГц, 100 кГц. Осциллограф соединен с выходом генератора сигнала кабелем K1 и выходом блока опторазвязки кабелем K2.



Рис. 3. Схема испытаний блока опторазвязки

Таким образом, при тестировании на экране осциллографа отображаются как изначальная синусоида от генератора сигналов, так и измененная синусоида от блока опторазвязки, что позволит оценить работу устройства на нелинейность и запаздывание сигнала.

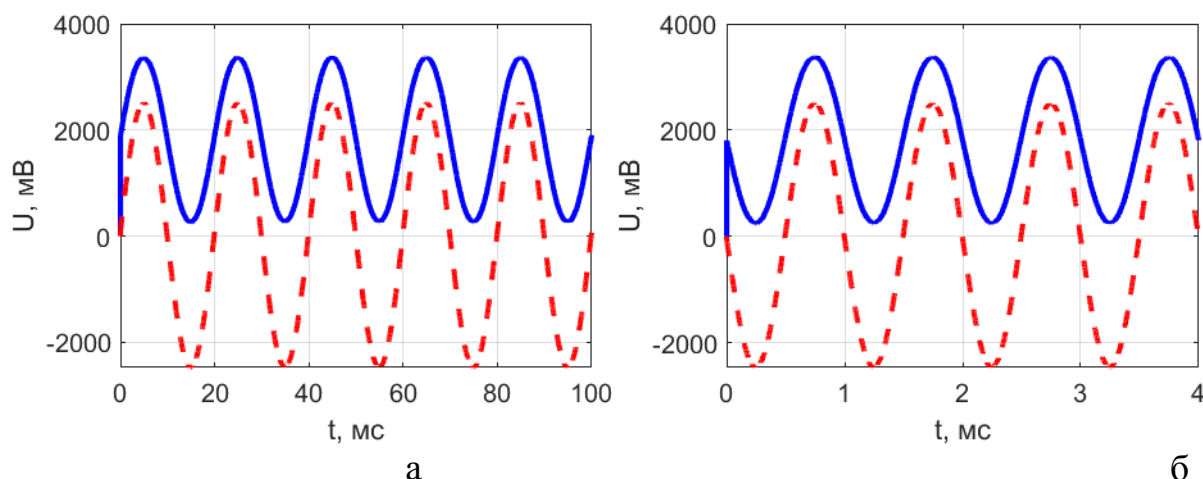


Рис. 4. Графики входного и выходного напряжения при подаче синусоидального сигнала 50 Гц (а) и 1 кГц (б):
пунктирная линия – входной сигнал (выход генератора);
сплошная линия – выходной сигнал блока опторазвязки

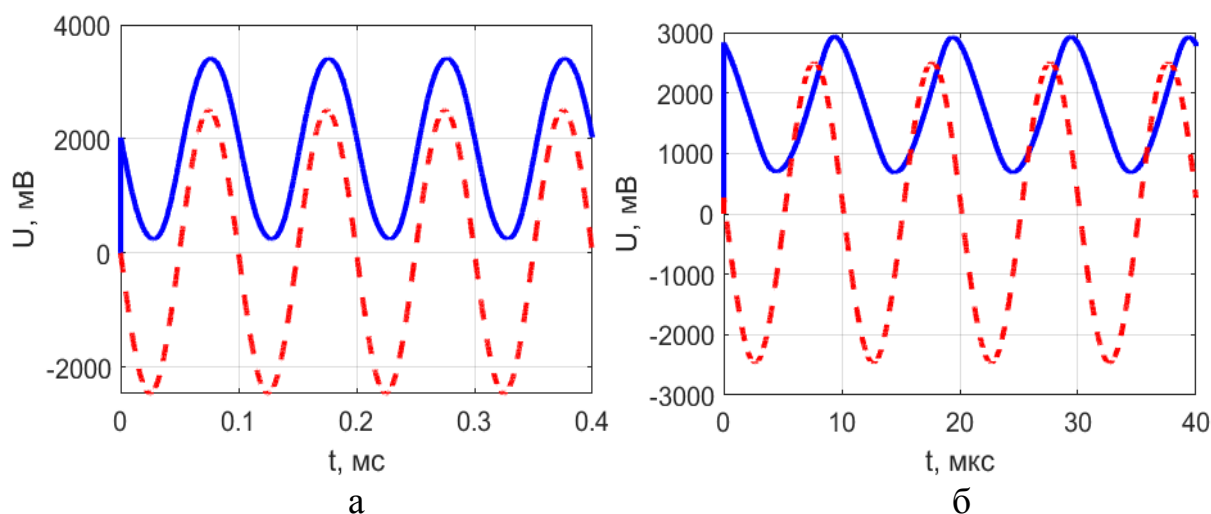


Рис. 5. Графики входного и выходного напряжения при подаче синусоидального сигнала 10 кГц (а) и 100 кГц (б):
пунктирная линия – входной сигнал (выход генератора);
сплошная линия – выходной сигнал блока опторазвязки

Согласно измерениям, на частотах 50 Гц и 1 кГц нелинейность сигнала практически отсутствует (рис. 4, а). На частоте 10 кГц наблюдается небольшая задержка выходного сигнала блока опторазвязки (сплошная линия) от входного сигнала генератора (пунктирная линия) (рис. 5, а). При частоте 100 кГц наблюдается явная нелинейность: положительные полу-волны выглядят уже отрицательных, а задержка выходного сигнала (сплошная линия) блока опторазвязки от входного (пунктирная линия) составляет около 2 мкс (рис. 5, б).

На основе измерений входного и выходного сигналов блока опторазвязки построена амплитудно-частотная характеристика блока опторазвязки (рис. 6). Данные измерений занесены в таблицу.

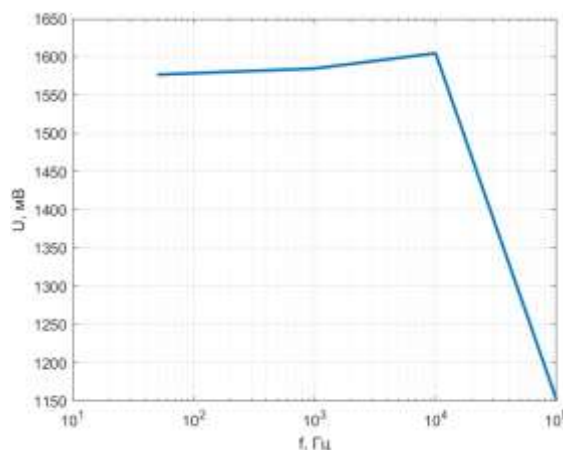


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика блока опторазвязки

Согласно графику (рис.6) можно судить о том, что до частоты 10 кГц амплитудно-частотная характеристика ведет себя практически линейно.

Таблица

Параметры сигналов блока опторазвязки при разной частоте

Обозначение, ед	Частота				Параметр
	50 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц	
Δt , мкс	10	0,4	0,04	0,004	Период дискретизации
U_0 , мВ	1818	1810	1830	1813	Смещение сигнала
$U_{\max}$, мВ	3395	3395	3435	2960	Максимальное значение сигнала
$U_{\min}$, мВ	240	225	225	665	Минимальное значение сигнала
U_a , мВ	1577	1585	1605	1152	Амплитуда сигнала
U_a / U_{a50}	1,0	1,01	1,02	0,73	Относительная амплитуда сигнала

По осциллограмме прямоугольного сигнала (рис. 7) можно оценить переходный процесс. Длительность процесса изменения выходного сигнала до 10 % или 90 % от установившегося значения не превышает 5 мкс.

ВЫВОДЫ

Исследования времени задержки сигнала спроектированным блоком гальванической развязки для отслеживания параметров трехфазной сети на основе разработанных схемотехнических решений методом тестирования на различных частотах показали отсутствие существенных запаздываний и искажений формы выходных сигналов по сравнению с эталонными входными сигналами.

Задержка выходных сигналов не превышает 100 мкс.

Приведенные осциллограммы тестирования блока оптронной развязки на частотах 50 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц и построенная амплитудно-частотная характеристика блока оптронной развязки отражает результаты проведенных тестов.

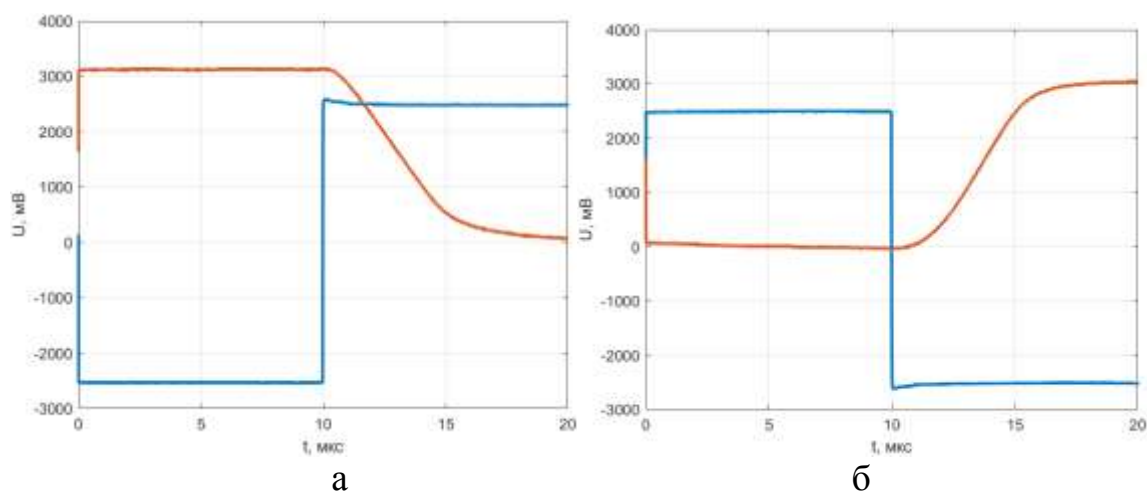


Рис. 7 – Осциллограммы прямоугольного сигнала частотой 1 кГц:
передний фронт (а) и задний фронт (б)
Оранжевый – выходной сигнал; синий – входной сигнал

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях: науч. издание / В.С. Дзюбан. – Москва: Недра, 1983. – 152с.
2. Справочник энергетика угольной шахты: В 2-х т. / В.С. Дзюбан, И.Г. Ширнин, Б.Н. Ванеев, В.М. Гостищев. Изд. 2-е. – Донецк: Юго – Восток, Лтд, 2001. – Т1. – 447с, Т2. – 440 с.
3. Озерной М.И. Горная электротехника / М.И. Озерной. – Москва: Госгортехиздат, 1962. – 432 с.
4. Савицкий А.В. Новая серия микроконтроллерных аппаратов защиты от токов утечки на землю в шахтных распределительных сетях напряжением до 1200 В / А.В. Савицкий // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка та електроенергетика». – 2013. – № 2(15). – С. 211-216.
5. ГОСТ 31612 – 2012. Устройства защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В: дата введения 1984-02-15 / Межгосударственный стандарт. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 12 с.

Получено: 08.04.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Довгань А.Ю.

UDC 621.317.18

A. Yu. KARPOVSKIY, *first deputy director for science;*
GBU Avtomatgormash im. V. A. Antipova, Donetsk,
V. V. DIDENKO, *Ph. D. Eng., head of laboratory;*
GBU MAKNI, Makeyevka,
D. A. LISITSYN, *project chief designer,*
S. V. SVISTELNIK, *leading engineer,*
A. D. ORLOV, *designing engineer;*
GBU Avtomatgormash im. V. A. Antipova, Donetsk

OPTO-COUPLED DEVICE FOR MATCHING OF SIGNALS OF THREE-PHASE NETWORK SENSORS

This research paper presents the results of examination of the device for matching of voltage and current signals of a high voltage network with an analog-digital converter of the calculation device. During the laboratory tests the non-linearity and the response speed have been evaluated of the device designed to detection of emergency modes at the stage of their progression in circuit branches.

Keywords: optical coupling unit, matching of signals, bidirectional signal, analog-digital conversion, calculation device.

УДК 621.317:622

А.Ю. КАРПОВСКИЙ, *первый зам. директора по науч. работе,*
А.И. ПУРИС, *зам. зав. отд.,*
С.Н. АНДРУСЕНКО, *гл. конструктор проекта;*
ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», г. Донецк

КОМПЛЕКС СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТНЫМ КОМБАЙНОМ КДК 1000 – ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ

Показаны средства для управления очистным комбайном в составе комплекса оборудования очистного забоя, снижающие степень рисков при выполнении основных технологических операций.

Ключевые слова: управление, комбайн, комплекс, риск, средства защиты.

Одной из главных проблем угольной промышленности РФ является зависимость от импортного оборудования. В части подземных горных работ доля импортного оборудования составляет: по механизированным крепям – 70,6%; по очистным комбайнам – 91,8%; по погрузочным машинам – 62,6%; по дизелевозам – 100%. В связи со сложившейся макроэкономической ситуацией покупка импортной техники и запасных частей значительно усложнилась. Кроме того, износ горно-шахтного оборудования на шахтах и разрезах России достигает уже пятидесяти процентов, в том числе и для очистных комбайнов [1].

Для дальнейшего развития угольной отрасли России актуально создание отечественных очистных комбайнов нового технического уровня – максимально высокой производительности, доступности обслуживания и надежности, не уступающих импортным образцам.

Цель работы – создание системы управления очистным комбайном, обеспечивающей минимизацию воздействия факторов риска на обслуживающий персонал и окружающую среду.

Отечественная промышленность не выпускает очистные комбайны, за исключением единичных образцов, изготовленных с использованием импортного электрооборудования и систем управления (K800, K750, K1000A).

Анализ эксплуатационных характеристик импортного электрооборудования, функционирующего при напряжении 3000 (3300) В, показал его преимущества по сравнению с оборудованием, использующим напряжение

до 1200 В. Вследствие введения санкций невозможно обновление парка очистных комбайнов, особенно для отработки пластов средней мощности и мощных, затруднен ремонт и обслуживание оборудования, так как отсутствуют запасные части.

В РФ для шахт и рудников используется трехфазный переменный ток напряжением от 127 до 3000В частотой 50 Гц. Применение напряжения 3000В снижает потери электроэнергии, увеличивает мощность, передаваемую потребителям, и повышает эффективность угледобычи. Наряду с использованием оборудования большей энерговооруженности, включая очистные комбайны, лавные конвейеры, возникает потребность в решении новых задач по созданию комплекса электротехнического оборудования, состоящего из трансформаторных подстанций, коммутационного оборудования со всеми видами защит, кабельной продукции и систем управления.

Выполняя программу по импортозамещению ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» совместно с ГБУ НИИВЭ и ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» в 2024 году начали разработку очистного комбайна КДК1000, предназначенного для отработки пологонаклонных пластов мощностью от 2,5 до 5,5 метров. Комбайн будет оснащен электроприводами суммарной установленной мощностью 1435 кВт, энерговооруженность каждого блока резания 550 кВт. Номинальное напряжение электроприводов комбайна сети составляет 3300 и 1140В, так как питание всех электроприводов осуществляют отдельными силовыми кабелями, поэтому требуется эффективная защита шахтной участковой электрической сети с изолированной нейтралью.

Энерговооруженность блоков резания, напряжения питания электродвигателей резания 3300В и питания остальных электродвигателей 1140В, частотно-регулируемый привод бесцепной системы подачи с электромагнитным тормозом, системы орошения и охлаждения электродвигателей и редукторов с независимыми контурами, нормативные и технологические ограничения параметров, такие как содержание метана, состояние изоляции кабелей и электрооборудования, токи нагрузки электродвигателей, скорость перемещения комбайна, температура, давление и расход охлаждающей жидкости, натяжение траковой цепи кабелеукладчика и т.д., взаимосвязь очистного комбайна с механизмами комплекса очистного забоя, возможность осуществления управления с пультов управления, расположенных на комбайне, или дистанционно как в зоне видимости комбайна, так и вне зоны видимости комбайна, выполнение всех видов блокировок и защит, предусмотренных нормативными и регламентирующими документами, значительно усложняет систему управления комбайном КДК1000 [2-5].

Основные риски при эксплуатации очистных комбайнов условно можно разделить на следующие группы, к которым относятся:

– природное воздействие: горное давление, геологические нарушения, взрывы пылеметановоздушной смеси, самовозгорание угля, выбросы, обрушение породы, запыленность;

– оборудование и технологические процессы: поражение электрическим током, движущиеся и вращающиеся части; высокое давление в системах электрогидравлического управления, орошения; высокая температура; дистанционное и автоматизированное управление, системы оповещения и связи);

– технологические факторы: длина лавы, управление кровлей, скорость комбайна, скорость движения цепи конвейера, паспорт крепления;

– прочие факторы: уровень квалификации персонала, физическое и психологическое состояние, защитные меры, организационные факторы, производственная и технологическая дисциплина.

Для исключения или минимизации рисков при отработке угольных пластов с помощью очистных комбайновых комплексов необходимо контролировать параметры забоя и оборудования, основные из которых приведены в таблице.

Таблица

Параметры забоя и оборудования, контролируемые КСУ

Источник сигнала	Сигналы состояния внешней среды очистного забоя
1	2
Горный массив, граница «почва - угольный пласт - кровля»	Процентное содержание метана в воздухе
	Акустический контроль
Очистной комбайн	Углы наклона корпуса комбайна и исполнительных органов
	Нагрузка на исполнительные органы (ток электродвигателей)
	Местоположение комбайна
	Скорость подачи комбайна
Крепь	Конец лавы
	Площадь незакрепленного пространства
	Положение элементов крепи по ходу движения комбайна

Окончание таблицы	
1	2
Забойный конвейер	Нагрузка приводов конвейера (ток электродвигателей конвейера)
	Скорость движения цепи конвейера
	Объем транспортируемого угля
Станция насосная орошения	Давление воды на входе в систему орошения комбайна
	Расход воды на входе в систему орошения комбайна
Станция насосная охлаждения	Давление воды на входе в систему охлаждения комбайна
	Расход воды на входе в систему охлаждения комбайна
Траковая цепь (кабели, шланги)	Натяжение траковой цепи
	Сопротивление изоляции жил кабеля
Система управления	
Место управления	Местное, дистанционное (лава, штрек)
Вид управления	Автоматизированное, ручное

На основании многолетнего опыта эксплуатации средств автоматизации и управления очистными комбайнами и экспериментальных исследований сформулированы основные задачи автоматизации, решаемые КСУ:

- повышение надежности и производительности оборудования;
- снижение пусков электродвигателей приводов исполнительных органов и подачи за счет автоматического регулирования скорости подачи комбайна;
- диагностический контроль;
- контроль технического состояния и режимов работы оборудования;
- наблюдение за пространственным положением комбайна [7-9].

КСУ очистным комбайном КДК1000 предназначен для управления, обеспечения необходимых защит и блокировок, диагностики и визуализации состояния отдельных узлов и механизмов очистного комбайна.

Обобщенная структура КСУ приведена на рисунке.

Блоки КСУ распределены таким образом, чтобы максимально уменьшить или исключить присутствие человека в месте отбойки угля. Комбайном можно управлять как с пультов управления, расположенных на комбайне, так и дистанционно, с двух носимых пультов радиоуправления в

зоне видимости и со штрекового пульта. При этом включение комбайна возможно только с одного места управления после подачи напряжения 1140В, а отключение – воздействием на кнопку «СТОП КОМБАЙНА», «АВАРИЙНЫЙ СТОП» на любом пульте управления или выключателем, связанным с тросом аварийного отключения, протянутым вдоль забойной части комбайна.

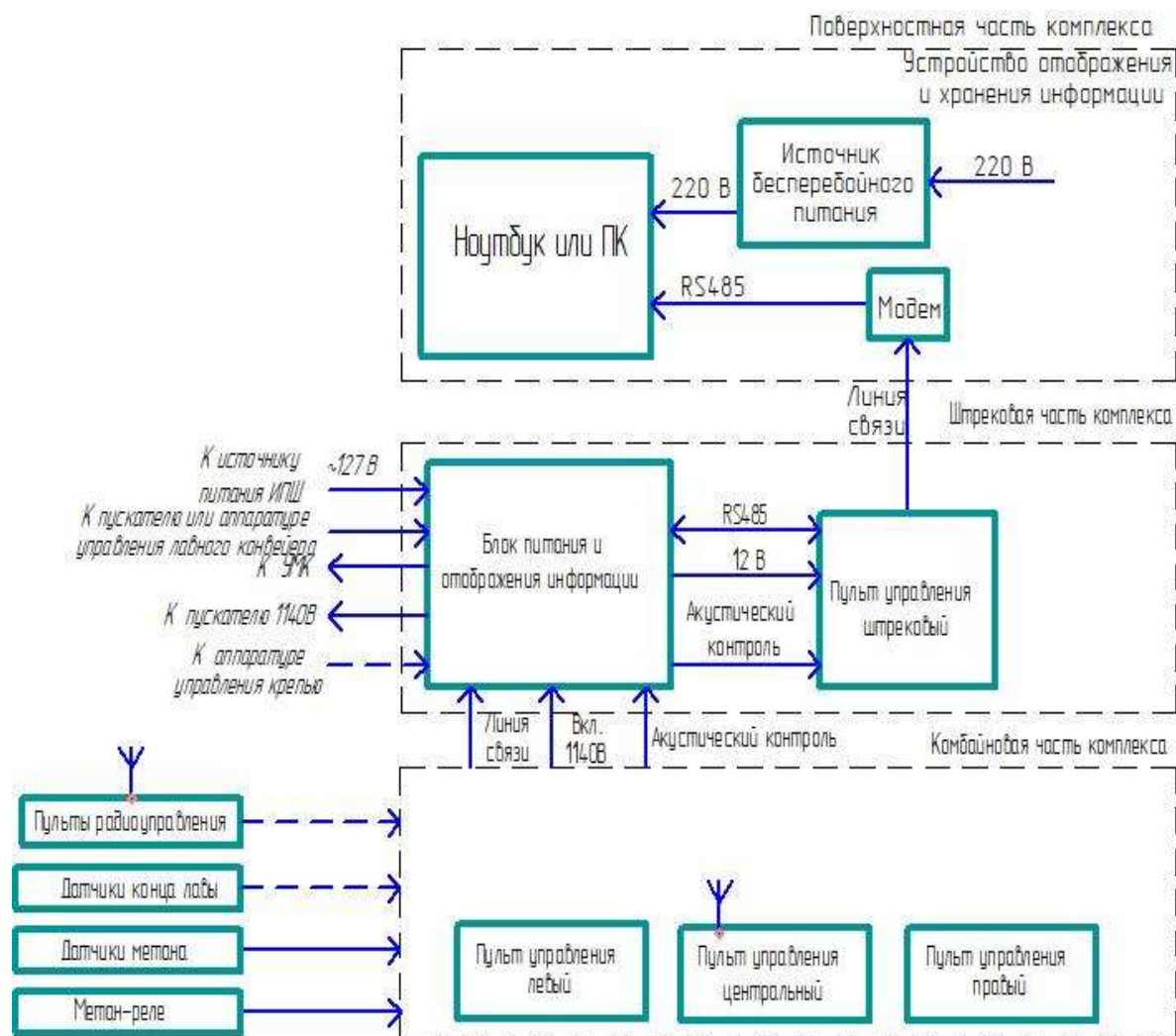


Рисунок – Обобщенная структура комплекса КСУ

Процесс отбойки и транспортировки угля, как правило, сопровождается обильным выделением метана, пылеобразованием и возможным искрообразованием. КСУ содержит аппараты, блокирующие подачу напряжения или отключающие его при концентрации метана больше допустимой, и датчики метана с аналоговым выходом. Сигнал о концентрации метана, индицируемый на дисплее комбайна или блоке, располагаемом на

штреке, передается диспетчеру. Опционально сигнал датчиков метана в качестве сигнала обратной связи может быть введен в систему регулирования скорости подачи комбайна и конвейера [6].

Перед включением комбайна необходимо визуально убедиться в отсутствии препятствий механического характера.

На центральном пульте управления переключателем выбирают вид управления: «МЕСТНОЕ» – с комбайновых пультов, «РАДИО» – с носимых пультов радиоуправления или «ШТРЕК» – с пульта управления, расположенного на штреке.

Перед подачей напряжения на электроприводы комбайна необходимо проконтролировать исправность их изоляции.

На центральном пульте путем воздействия на кнопку «ВКЛ.1140В» передается команда о включении пускателя, подающего напряжение 1140В на комбайн. После подачи напряжения питания микропроцессорная система оценивает уровень сопротивления изоляции, состояние контакторов включения электродвигателей, исправность и сигналы датчиков.

Только после положительных результатов тестирования возможна подача напряжения питания на электродвигатели резания и остальные электроприводы комбайна.

Для исключения или уменьшения риска взрыва метановоздушной смеси, пыли, пожара на комбайне применяется орошение, снижающее уровень пылеобразования и фрикционного искрения.

Ряд датчиков предназначен для контроля параметров системы орошения. Система управления комбайном исключает возможность пуска комбайна при неработающих средствах пылеподавления согласно требованиям стандартов [5].

Далее необходимо минимизировать риски, связанные с человеческим фактором, для чего обслуживающий персонал проходит обучение безопасным и рациональным методам работы с конкретным горно-шахтным оборудованием. КСУ облегчает управление комбайном с безопасного расстояния: в зоне видимости по беспроводному каналу при помощи пультов радиоуправления и по проводному каналу.

Большая часть операций управлением электрогидравлическими клапанами проводится оператором вручную на основании собственных визуальных восприятий положения оградительного щита, поворотных щитов, положения дробилки, либо показаний датчиков наклона корпуса комбайна и датчиков положения исполнительных органов.

По команде «ПУСК КОНВЕЙЕРА» включается звуковой предупредительный сигнал, затем включаются поочередно, с выдержкой времени, приводы забойного конвейера.

По команде «ПУСК КОМБАЙНА» включается звуковой предупредительный сигнал на комбайне и пускатели насоса орошения и охлаждения, расположенные на штреке. При достижении необходимых параметров орошения происходит включение пускателя, подающего напряжение 3000В на включение электродвигателя одного исполнительного органа, затем, с заданной выдержкой времени, включается двигатель второго исполнительного органа.

Воздействием на тумблеры «РЕЖУЩИЙ ОРГАН ЛЕВЫЙ» или «РЕЖУЩИЙ ОРГАН ПРАВЫЙ» в необходимом направлении машинист задает требуемое положение исполнительных органов. Аналогичные операции проводят с дробилкой.

Далее машинист комбайна задает требуемое направление и скорость подачи воздействием на кнопки «ПОДАЧА→» или «ПОДАЧА←» на соответствующем пульте управления. Комбайн приходит в движение и осуществляет отбойку угля, перемещаясь по лаве вдоль очистного забоя с заданной скоростью в автоматизированном режиме при отсутствии технологических ограничений.

Подсистема регулирования скорости подачи комбайна представляет собой систему подчиненного регулирования с обратной связью по скорости. Скорость подачи может быть задана однозначно с пульта комбайна, пульта радиоуправления или пульта, расположенного на штреке. Выбор места задания осуществляется переключателем «УПРАВЛЕНИЕ» на центральном пульте управления. На пультах управления левом и правом при помощи ключа выбирается активный пульт в режиме местного управления. Сигнал, соответствующий заданной скорости, подается на устройство сравнения, где суммируется с сигналом отрицательной обратной связи по скорости, поступающим с преобразователя сигнала обратной связи от датчика частоты вращения электродвигателя подачи. На второй вход устройства сравнения через амплитудный селектор подается сигнал регуляторов, задающих ограничения скорости подачи по: токам нагрузки исполнительных органов и электродвигателей лавного конвейера, концентрации метана в очистном забое. Далее сигнал подается преобразователю частоты электродвигателя подачи при отсутствии критических значений сигналов на входе блоков отсечки: конца лавы, натяжения траковой цепи, электромагнитного тормоза, метан-реле, перегруз лавного конвейера, перегруз электродвигателей исполнительных органов и подачи.

Если какой-либо из перечисленных сигналов присутствует, то на выходе блока обратной связи формируется сигнал отсечки, который поступает на устройство сравнения и формирует сигнал задания скорости на входе ПЧ для остановки электродвигателей подачи и включения тормозов. При

этом комбайн останавливается, и причина остановки индицируется на всех пультах.

При ограничении скорости, вследствие воздействия регуляторов, на устройствах отображения индицируются заданные значения скорости подачи, текущее значение и значение параметра, ограничивающего подачу.

При поступлении сигнала от датчика, контролирующего конец лавы, комбайн останавливается, и соответствующая информация отображается на всех дисплеях. Машинист комбайна вручную выставляет положение исполнительных органов, погрузочных щитков, дробилки с местных пультов и цикл выемки угля повторяется при работе по челноковой схеме.

КСУ обеспечивает: задание технологических уставок; получение по интерфейсу, обработку и отображение информации о выбранном режиме управления; скорости и направлении подачи; температуре электродвигателей и редукторов; токах нагрузки электродвигателей резания, подачи, маслостанции, системы смазки и дробилки; других технологических параметрах; причинах отключений или блокировок включения; режимах работы и причинах аварийных отключений преобразователей частоты; диагностике комплекса управления.

Во время работы комбайна контролируются параметры работы отдельных узлов и элементов комбайна, информация нормируется, обрабатывается, передается на штрек и на поверхность и хранится в устройстве отображения и хранения информации.

Накапливаемая информация позволяет вести наблюдение за тенденцией отклонения величины параметра от заданных значений.

ВЫВОДЫ

КСУ очистным комбайном КДК1000 позволит существенно снизить риски природного, техногенного и антропогенного характера при ведении очистных работ, снизить напряженность и улучшить условия работы персонала за счет автоматизации выполнения отдельных операций и удаления людей из опасной зоны.

Контроль технического состояния и режимов работы оборудования облегчит планирование и регламентирование профилактических и ремонтных работ, что существенно снизит риски аварий и внеплановых простоев оборудования.

Предполагается использование КСУ комбайнами в автоматизированных комплексах для управления положением исполнительных режущих органов в профиле пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угольная отрасль России: современное состояние. – URL: <https://заводы.рф/publication/ugolnaya-otrasl-rossii> (дата обращения 07.10.2024 г.)
2. НПАОП 10.0-3.01-90. Нормативы по безопасности забойных машин, комплексов и агрегатов, утвержденные Министерством угольной промышленности СССР 25 июня 1990 г. – 103 с.
3. Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8.12. 2020 г. № 506. – 227 с.
4. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 507 (ред. от 23.06.2022) «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах»» (зарегистрирован в Минюсте России 18.12.2020 № 61587).
5. ГОСТ 31557–2012. Комбайны очистные. Общие технические требования. Методы испытаний: межгосударственный стандарт: дата введения 2014-01-01/Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 18 с.
6. Копылов К.Н. Результаты экспериментальных исследований по оперативному управлению очистным комбайном в высокопроизводительных лавах / К.Н. Копылов, И.М. Закоршменный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 1. – С. 36-46. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-36-46.
7. Задачи автоматизации электрооборудования современных очистных механизированных комплексов / Е.В. Афоничев, С.В. Голосенко, А.А. Крючков, Ю.В. Шевырев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 1. – С. 163-174.
8. Горбатов П.А. Выемочные комбайны нового поколения как энергетические системы мехатронного класса / П.А. Горбатов, В.В. Косарев, Н.М. Лысенко. – Донецк: Ноулидж, 2010. – 176 с.
9. Добровольский А.Ю. Разработка комплекса технических и организационных мероприятий для прогноза чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных шахт и оценки их последствий: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.02 / Добровольский Алексей Юрьевич; Моск. гос. гор. ун-т. – Москва, 2007. – 20 с.

Получено: 07.04.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Довгань А.Ю.

UDC 621.317:622

A. Yu. KARPOVSKIY, *first deputy director for science,*
A. I. PURIS, *deputy head of department,*
S. N. ANDRUSENKO, *chief designer of the project;*
GBU Avtomatgormash im. V. A. Antipova, Donetsk

**A SET OF TOOLS FOR CONTROL OF THE SHEARER-LOADER
KDK 1000 AS A RISK REDUCTION TOOL**

In this research paper tools are demonstrated for control of a shearer-loader as a part of an equipment set of a working face which reduces the risk level while performing main production operations.

Keywords: control, shearer-loader, set, risk, protection tools.

УДК 621.316.925

Р.А. ПАРХОМЕНКО, зав. лаб.,

И.П. ГОРОШКО, зав. отд.,

А.Ю. ГЛАДКОВ, канд. техн. наук, зав. лаб.,

В.В. ДИДЕНКО, канд. техн. наук, зав. лаб.;

С.В. БОНДАРЕНКО, техник; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ ПУТЕМ КОНТРОЛЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПЕРЕХОДОВ ТОКОВ ФАЗ ЧЕРЕЗ НУЛЕВОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Предложен алгоритм для обнаружения несимметричных режимов трехфазной сети с изолированной нейтралью, основанный на определении периодичности перехода токов фаз через нулевое значение.

Ключевые слова: межфазное короткое замыкание, шахтная участковая сеть, переход тока через нуль, время обнаружения, угол импеданса контура КЗ.

Трехфазные сети переменного тока с изолированной нейтралью применяются в горной, нефтехимической и металлургической промышленности. В процессе эксплуатации такие сети подвержены несимметричным режимам работы, к которым относятся: обрыв одной или нескольких фаз, несимметричная нагрузка, однофазные и межфазные короткие замыкания (МКЗ). При этом последнее является одним из наиболее опасных: при коэффициенте кратности тока $K_{кз}$ от 7 до 15 термические нагрузки на кабели и полупроводниковые элементы достигают критических значений за единицы миллисекунд [1]. Требования взрывобезопасности ограничивают допустимое время существования дуги короткого замыкания (КЗ), поэтому задача быстрого обнаружения несимметричных режимов является актуальной.

Существующие защиты: максимальные токовые имеют время срабатывания от 20 до 100 мс [2]; основанные на анализе производной тока di/dt – до 2 мс, однако они менее помехоустойчивы [3]; основанные на анализе симметричных составляющих – не менее 20 мс [4].

Цель работы – разработка и оценка алгоритма обнаружения несимметричных режимов, основанного на контроле периодичности переходов токов фаз через нулевые значения.

В симметричном нормальном режиме токи фаз описываются следующими зависимостями:

$$I_A = I_m \cdot \sin(\omega t), \quad I_B = I_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \quad I_C = I_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right), \quad (1)$$

где I_m – амплитуда тока нагрузки;

$$\omega = 2\pi f;$$

t – текущее время;

$$f = 50 \text{ Гц.}$$

Интервал между соседними нулевыми переходами одной фазы строго равен:

$$\Delta t_{\text{норм}} = \frac{T}{2} = 10 \text{ мс.} \quad (2)$$

Нормальный режим с равноотстоящими нулевыми переходами показан на рис. 1.

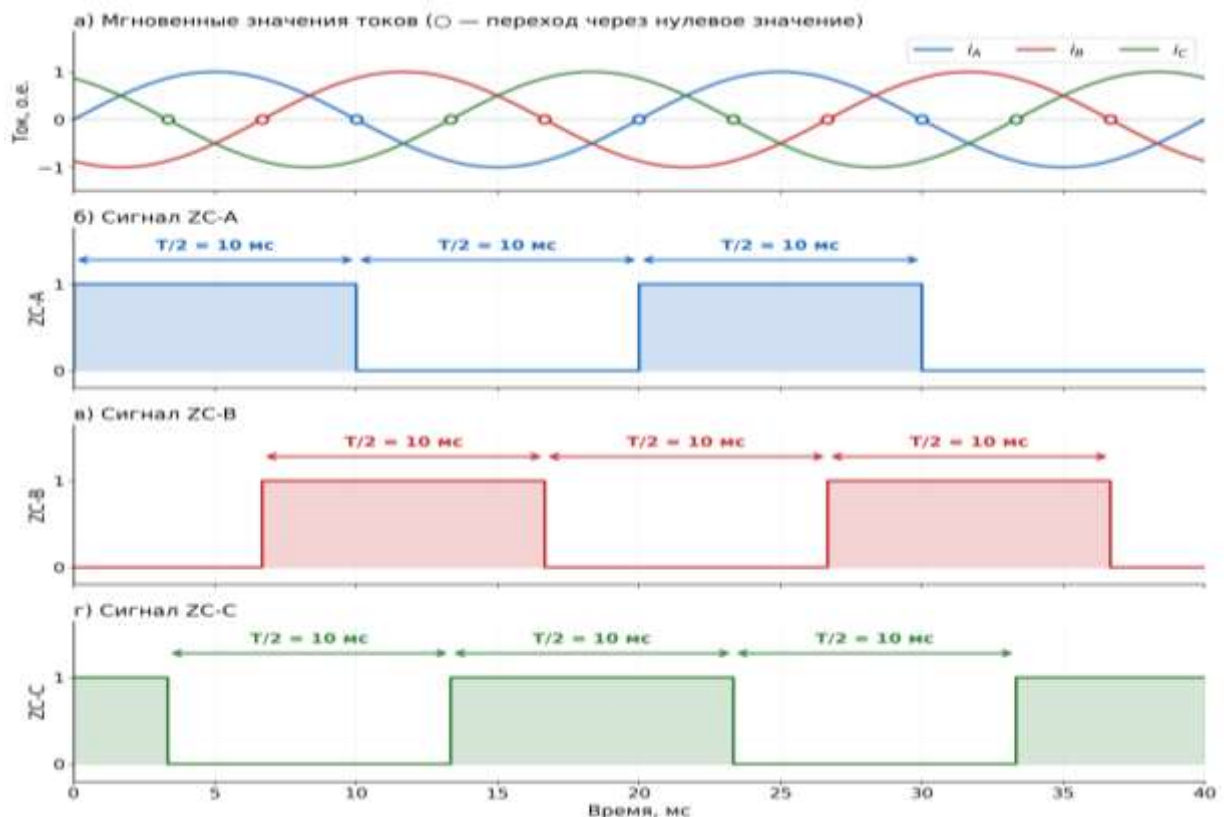


Рис. 1. Нормальный режим:
а – токи фаз; б – г – сигналы каналов ZC-A, ZC-B, ZC-C.
Интервал $T/2 = 10 \text{ мс}$

При МФЗ между фазами А и В ток контура КЗ смещен на угол $(\delta + \varphi_{\text{КЗ}})$ относительно тока нагрузки, где $\delta = 30^\circ$ – геометрический сдвиг, определяемый разностью ЭДС пары А-В: $I_A - I_B = \sqrt{3} \cdot I_m \cdot \sin(\omega t - 30^\circ)$, а $\varphi_{\text{КЗ}} = \arctg(X_\Sigma / R_\Sigma)$ – угол импеданса контура МФЗ, определяемый соотношением суммарных индуктивного X_Σ и активного R_Σ сопротивлений контура КЗ, $\varphi_{\text{КЗ}} = 30^\circ$, что соответствует среднему значению для шахтных участковых сетей 1140 В. При этом постоянная времени апериодической составляющей $\tau = \text{tg}30^\circ / \omega \approx 1,84 \text{ мс} \ll T/2$, поэтому ее влияние на нулевые переходы невелико.

Мгновенные токи при МФЗ между фазами А и В:

$$I_{A(t)} = I_m \cdot \sin(\omega t) + I_{\text{КЗ}} \cdot \left[\sin(\omega t - \delta - \varphi_{\text{КЗ}}) - \sin(-\delta - \varphi_{\text{КЗ}}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \right], \quad (3)$$

$$I_{B(t)} = I_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) - I_{\text{КЗ}} \cdot \left[\sin(\omega t - \delta - \varphi_{\text{КЗ}}) - \sin(-\delta - \varphi_{\text{КЗ}}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \right] \quad (4)$$

где $I_{\text{КЗ}} = K_{\text{КЗ}} \cdot I_m$, А;

I_m – мгновенное значение тока, А;

$K_{\text{КЗ}}$ – коэффициент кратности тока КЗ, от 7 до 15;

ω – угловая частота, рад;

t – момент времени, с;

$\delta = \frac{\pi}{6}$ – угол сдвига между фазами, рад;

ток I_C не изменяется.

Смещение нулевого перехода тока I_A в установившемся режиме КЗ на основании выражений (3) и (4) путем приведения суммы двух синусоидальных составляющих к единой синусоиде и определения ее фазового сдвига относительно нормального нулевого перехода в нормальном режиме, определяем из [5]:

$$\Delta t = \arctg(K_{\text{КЗ}} \cdot \sin(\delta + \varphi_{\text{КЗ}}) / (1 + K_{\text{КЗ}} \cdot \cos(\delta + \varphi_{\text{КЗ}}))) / \omega. \quad (5)$$

При кратности $K_{\text{КЗ}} = 8$ и $\varphi_{\text{КЗ}} = 30^\circ$: $\Delta t \approx 3,01 \text{ мс}$.

Относительную величину допустимого отклонения периода следования фаз $\delta_{\text{доп}}$, учитывающую нестабильность частоты сети и несимметрию

нагрузки принимаем равной 5%. Таким образом, допустимый интервал будет: $\frac{T}{2} \cdot \delta_{\text{доп}} = 0,5\text{мс}$. Учитывая, что смещение нулевого перехода Δt более чем в 6 раз превышает допусковый интервал, его можно считать надежным диагностическим признаком МФЗ.

На основании изложенного, авторами предложен алгоритм обнаружения несимметричного режима, реализующий поэтапную обработку сигналов датчиков тока трех фаз.

Мгновенные значения токов I_A, I_B, I_C формируют три дискретных сигнала ZC-A, ZC-B, ZC-C, характеризующие последовательность перехода через нулевое значение, причем 1 – при положительном полупериоде тока, 0 – при отрицательном. Каждый фронт сигнала соответствует нулевому переходу тока.

Для каждого канала фиксируется момент очередного нулевого перехода t_n и определяется интервал: $\Delta t_{\text{изм}} = t_n - t_{\{n-1\}}$.

Условие нарушения периодичности проверяется следующим образом:

$$\left| \Delta t_{\text{изм}} - \frac{T}{2} \right| > \delta_{\text{доп}} \cdot \frac{T}{2}. \quad (6)$$

При выполнении условия (6) фиксируется аномалия одного из двух типов:

- «смещение»; $t_{\text{факт}} < t_{\text{ожид}} - \delta_{\text{доп}} \cdot \frac{T}{2}$, т. е., переход наступил раньше нижней границы допускового окна; время фиксации $t_{\text{обн}} = t_{\text{факт}}$;
- «пропуск»; переход не наступил к моменту $t_{\text{ожид}} + \delta_{\text{доп}} \cdot \frac{T}{2}$, т. е., время фиксации $t_{\text{обн}} = t_{\text{ожид}} + \delta_{\text{доп}} \cdot \frac{T}{2}$.

Факт несимметричного режима с признаком МФЗ констатируется при выполнении условия (6) для двух каналов с разными метками фаз. Время обнаружения: $t_{\text{обн}} = t_{\text{обн}} - t_{\text{КЗ}}$. Принятие решения, использующего аномалии в двух фазах, предотвращает ложные срабатывания от помех, действующих одновременно в одном канале.

Графическая интерпретация предложенного алгоритма приведена на рис. 2.

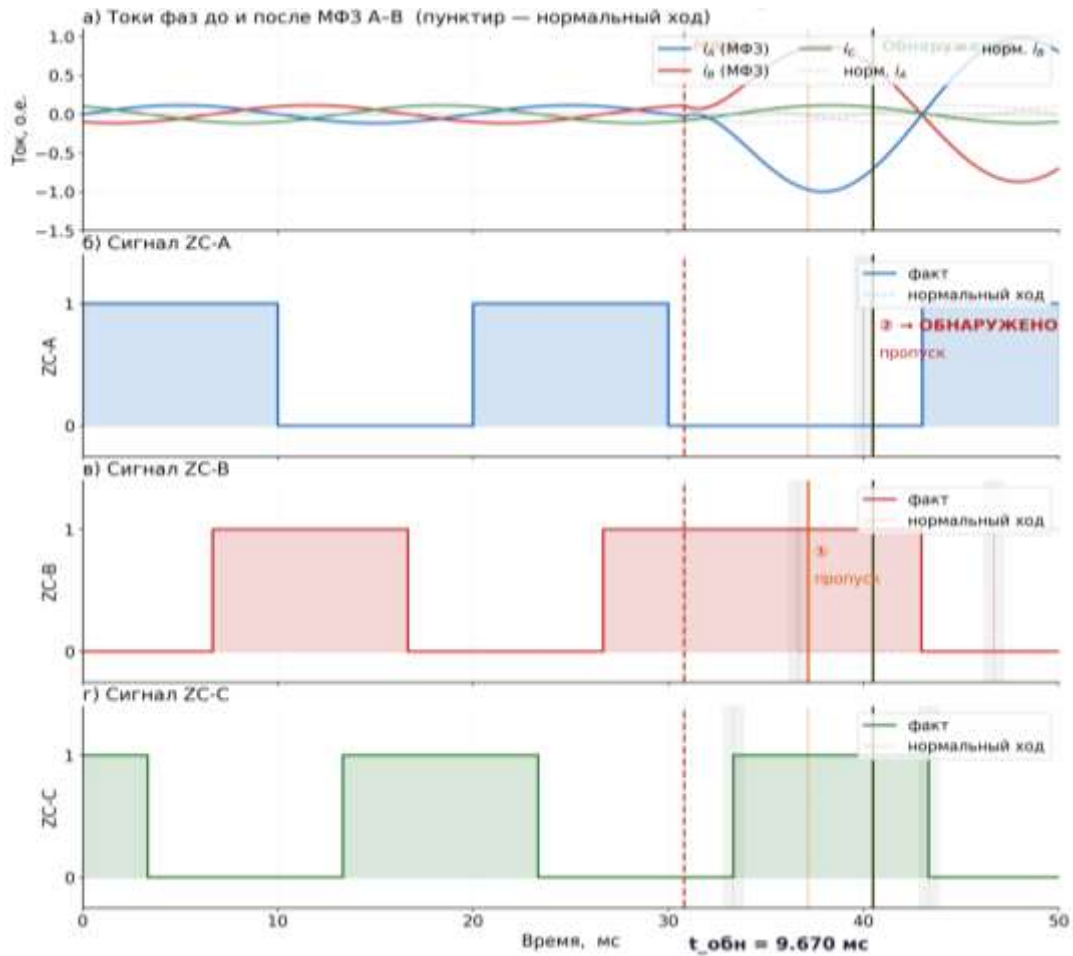


Рис. 2. Алгоритм обнаружения МФЗ:
Серые полосы – допусковые окна ожидания нулевых переходов

Также было проведено численное моделирование для 360 значений угла возникновения МФЗ (шаг 1°) при $K_{КЗ} = 8, \varphi_{КЗ} = 30^\circ, \delta_{доп} = 5\%$. Результаты приведены на рис. 3.

Алгоритм позволяет обнаруживать МФЗ, произошедшее при любых значениях времени и угла (рис. 1, а): $t_{обн_{min}} = 0,501\text{мс}$ при $\omega t = 0$, $t_{обн_{max}} = 9,670\text{мс}$ при $\omega t = 195^\circ$ и среднее значение $t_{обн_{ср}} = 5,039\text{мс}$.

ВЫВОДЫ

Предложен алгоритм для обнаружения несимметричных режимов трехфазной сети с изолированной нейтралью, использующий нарушение периодичности переходов токов фаз через нулевое значение:

при $K_{КЗ} = 8$, $\varphi_{КЗ} = 30^\circ$, $\delta_{\text{доп}} = 5\%$ для 360 углов получены
 $t_{\text{обн}_{\min}} = 0,501\text{мс}$, $t_{\text{обн}_{\max}} = 9,670\text{мс}$, $t_{\text{обн}_{\text{ср}}} = 5,039\text{мс}$.

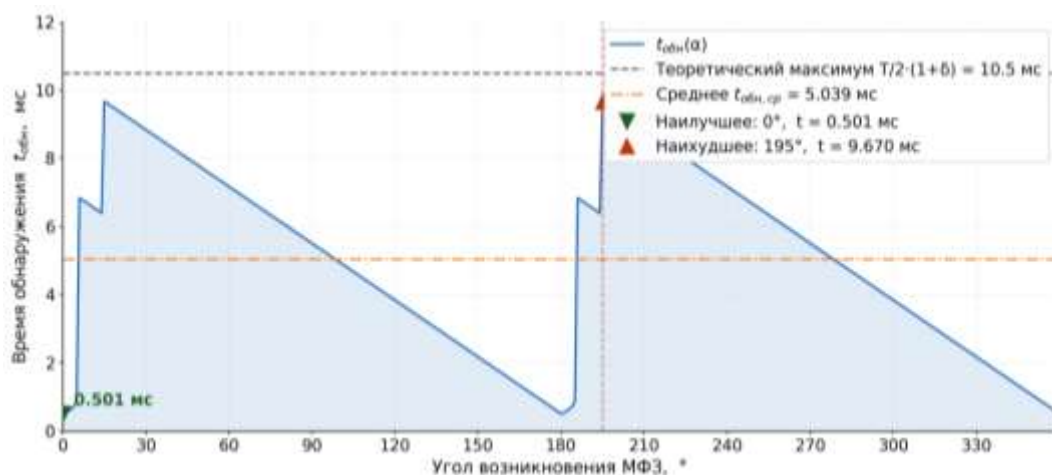


Рис 3. Время обнаружения МФЗ при
 $K_{КЗ} = 8, \varphi_{КЗ} = 30^\circ$, допуск $\pm 5\%$:
 $\nabla - t_{\text{обн}_{\min}} = 0,501\text{мс} (0^\circ)$; $\Delta - t_{\text{обн}_{\max}} = 9,670\text{мс} (195^\circ)$

Использование алгоритма позволяет обеспечить быстродействие обнаружения МФЗ и помехоустойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрификация горного производства : учебник для вузов : в 2 т. Т.2 / А.В. Ляхомский [и др.] ; под ред. Л.А. Пучкова, Г.Г. Пивняка. – Москва : Изд-во МГГУ, 2007. – 594с. – ISBN 978-5-7418-0454-4. – Текст : непосредственный.
2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник / В.А. Андреев. – 4-е изд. – Москва : Высшая школа, 2006. – 639 с. – ISBN 5-06-004826-1. – Текст : непосредственный.
3. Пивняк, Г.Г. Релейная защита электроустановок на открытых горных работах / Г.Г. Пивняк, Ф.П. Шкрабец, Я.С. Горбунов. – Москва : Недра, 1985. – 269 с. – Текст : непосредственный.
4. Ванин, В.К. Релейная защита на элементах вычислительной техники / В.К. Ванин, Г.М. Павлов. – 2-е изд. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – 336 с. – ISBN 5-283-04501-3. – Текст : непосредственный.
5. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электри-

ческие цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 12-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2016. – 701 с. – (Бакалавр. Академический курс).

Получено: 02.06.2026

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Диденко В.П.

UDC 621.316.925

**R. A. PARKHOMENKO, head of laboratory,
I. P. GOROSHKO, head of department,
A.Y. GLADKOV, Ph. D. Eng., head of laboratory,
V. V. DIDENKO, Ph. D. Eng., head of laboratory,
S. V. BONDARENKO, technician; GBU MAKNI, Makeyevka**

**DETECTION OF A SHORT CIRCUIT
IN A THREE-PHASE NETWORK WITH INSULATED NEUTRAL
BY MEANS OF CONTROL OF TRANSITION FREQUENCY
OF PHASE CURRENTS THROUGH ZERO VALUE**

In this research paper an algorithm is suggested for detection of unsymmetrical modes of a three-phase network with insulated neutral based on definition of transition frequency of phase currents through zero value.

Keywords: short-circuit between phases, mine circuit branch, current transition through zero value, detection time, impedance angle of a short circuit loop.

УДК 621.314.572

А.А. ТАРАНЕНКО, *нач. отд.*,Д.Э. ВОЛКОВ, *гл. инж. отд.*,О.Н. НОВИКОВА, *ведущий инж.; ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ», г. Донецк*

О ПРОЦЕССАХ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ КВАЗИЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОПИТАНИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Исследованы процессы квазичастотного электропитания асинхронного двигателя скребкового конвейера. Разработана математическая модель системы «асинхронный двигатель – тиристорный коммутатор», учитывающая влияние электрических параметров двигателя и силовой схемы. Проведено моделирование процесса формирования квазисинусоидальных напряжений и токов, выявлены особенности работы двигателя при низкочастотной модуляции. Полученные результаты могут быть использованы для создания систем управляемого пуска электропривода скребкового конвейера.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, скребковый конвейер, квазичастотное управление, тиристорный коммутатор, математическое моделирование, электропривод.

Одним из проблемных вопросов эксплуатации скребкового конвейера (СК) является отсутствие технических средств для управляемого пуска электродвигателя конвейера. При контакторном включении двигателя пуск СК, сопровождаемый интенсивным разгоном тягового органа, приводит к снижению его ресурса и повышенным динамическим перегрузкам; представляет опасность для обслуживающего персонала. Исследование возможности применения альтернативных решений для реализации управляемого пуска привода СК является актуальным.

Известны исследования в области квазичастотного управления асинхронным двигателем (АД). В частности, в [1] установлена возможность формирования трехфазных квазисинусоидальных напряжений, симметричных в фазах и полуволнах, частота f_m которых:

$$f_m = \frac{f_s}{1 \pm 6n}, \quad (1)$$

где f_s – частота сети,

n – число натурального ряда.

В режиме квазичастотного управления при $f_m = 7,14$ Гц и $f_m = 10,00$ Гц достигается двукратное увеличение электромагнитного момента АД, причем при $f_m = 10,00$ Гц АД вращается в обратную сторону. Задача плавного перевода АД с фиксированной пониженной скорости при $f_m = 7,14$ Гц на номинальную решена в [2].

Полученные результаты делают привлекательной идею создания квазичастотного асинхронного электропривода СК. Однако, вследствие отсутствия комплексных математических моделей, учитывающих взаимное влияние АД и силовой полупроводниковой схемы, процесс квазичастотного управления асинхронным электроприводом изучен поверхностно.

Целью работы является разработка математической модели процессов при квазичастотном управлении АД, учитывающей взаимное влияние параметров двигателя и силовой полупроводниковой схемы.

Квазичастотное управление АД реализуется силовым тиристорным коммутатором (СТК), представляющим собой три встречно-параллельные тиристорные пары, по одной в каждой фазе. Структура электротехнического комплекса с квазичастотным преобразователем представлена на рис. 1:

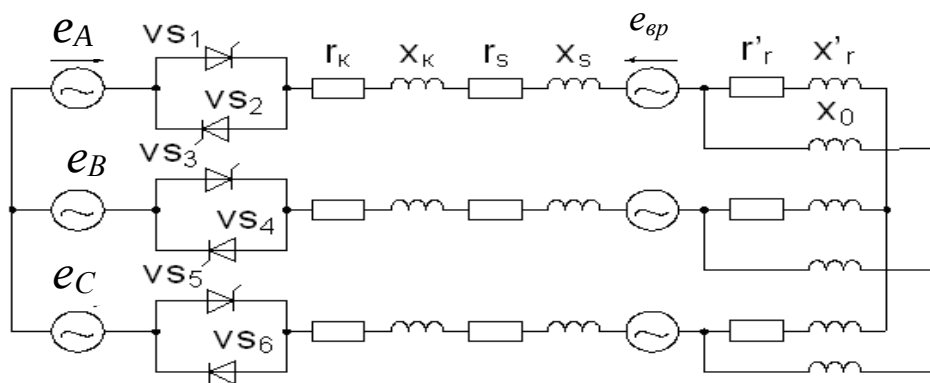


Рис. 1. Структура электротехнического комплекса
с квазичастотным преобразователем

На схеме приведены следующие обозначения: e_A, e_B, e_C – фазные ЭДС источника электропитания; r_K, X_K – соответственно, активное и индуктивное сопротивления кабеля между СТК и АД. Параметры АД потребителя: r_s, X_s – активное и индуктивное сопротивления обмотки статора; r'_r, X'_r – приведенные активное и индуктивное сопротивления обмотки ротора; X_0 – индуктивное сопротивление намагничивания АД; e_{bp} – ЭДС вращения, индуцируемая в соответствующей фазе статора АД. СТК состоит из тиристоров VS_1 – VS_6 .

В режиме формирования квазисинусоидального напряжения тири-

сторы отпираются чередующимися группами, формируя на выходе СТК фрагменты синусоид фазных напряжений сети [1]. Частота переключения групп тиристоров $f_p = 6f_m$. Пример формирования фрагмента квазисинусоидальных напряжений u_A' ; u_B' ; u_C' на интервале $t_0 - t_3$ представлен на рис. 2.

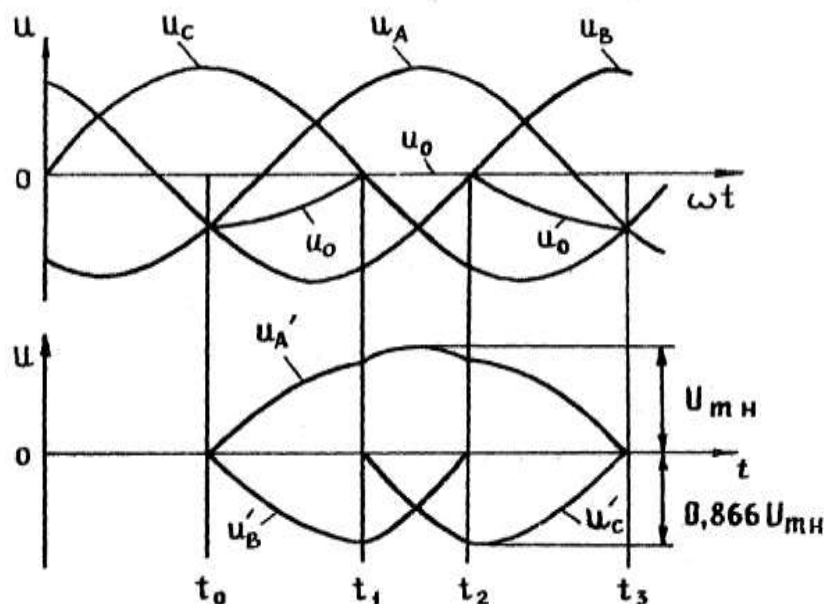


Рис. 2. Диаграммы формирования фрагмента квазисинусоидальных напряжений

На интервале t_0-t_1 : к нагрузке приложено линейное напряжение u_{AB} , потенциал средней точки нагрузки $u_0 = u_A - (u_A - u_B)/2$; мгновенные фазные напряжения на выходе СТК описываются выражениями:

$$u'_a = (u_a - u_b)/2, \quad (2)$$

$$u'_b = (u_b - u_a)/2, \quad (3)$$

$$u'_c = 0. \quad (4)$$

Интервал t_1-t_2 действует трехфазная система напряжений, потенциал средней точки нагрузки $u_0=0$:

$$u'_a = u_a = U_m \cdot \sin \omega t, \quad (5)$$

$$u'_b = u_b = U_m \cdot \sin(\omega t - 2 \cdot \pi/3) \quad (6)$$

$$u'_c = u_c = U_m \cdot \sin(\omega t + 2 \cdot \pi/3) \quad (7)$$

На интервале t_2-t_3 к нагрузке прикладывается напряжение u_{AC} ; потенциал средней точки нагрузки $u_o = u_A - (u_A - u_C)/2$; мгновенные фазные напряжения на выходе СТК описываются выражениями:

$$u'_a = (u_a - u_c)/2, \quad (8)$$

$$u'_b = 0, \quad (9)$$

$$u'_c = (u_c - u_a)/2 \quad (10)$$

Указанные соотношения, а также, допущения о мгновенном характере процесса коммутации тиристоров СТК и идеальных параметрах их проводимостей могут быть взяты за основу разработки компьютерной модели процессов в системе СТК-АД при квазичастотном электропитании. Для формализации уравнений состояния и уравнений связи электрической цепи применена матрично-топологическая методика [4]. Алгоритм компьютерной модели процесса приведен на рис. 3.

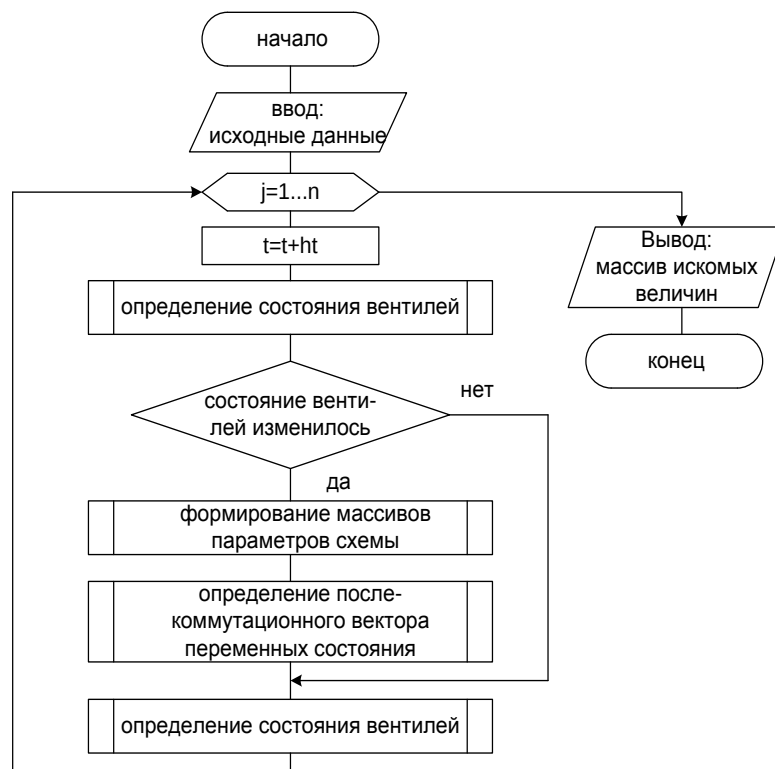


Рис. 3. Алгоритм моделирования процессов в СТК-АД

Процессы в системе СТК-АД рассматриваем с учетом ЭДС вращения, прикладываемой к СТК со стороны статора, изменяя потенциалы ано-

дов и катодов тиристоров, что приводит к смещению временных моментов коммутации.

$$e_{вр} = E_{врт} \cdot \sin(2\pi f_m t - \psi_B), \quad (11)$$

где $E_{врт}$ – амплитуда первой гармоники ЭДС вращения;

ψ_B – начальная фаза ЭДС вращения, полученная путем составления матрицы индуктивностей, учитывающей параметры двигателя.

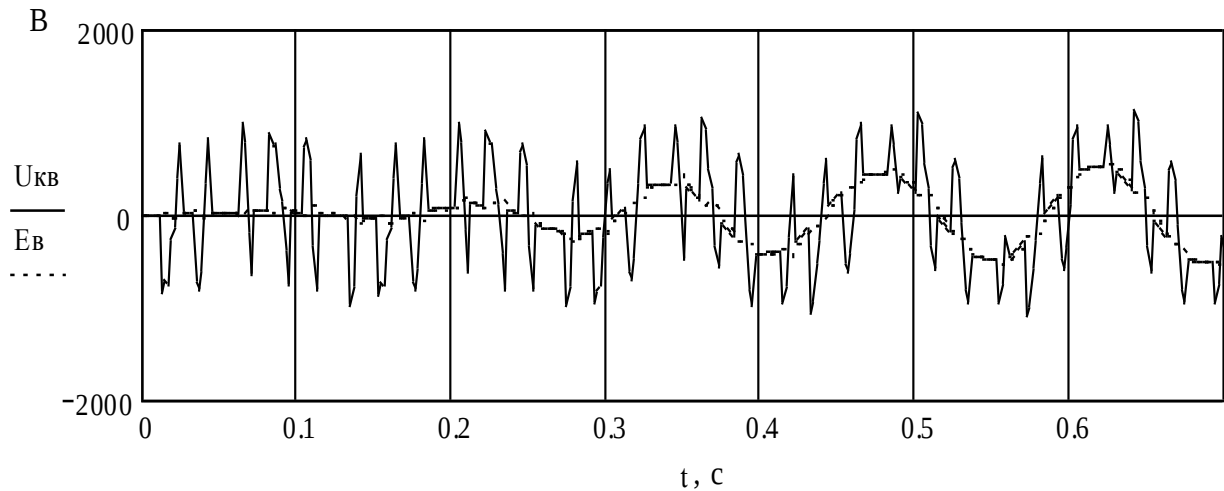


Рис. 4. Диаграммы моделирования фазного квазисинусоидального напряжения с учетом ЭДС вращения АД

Как видно из рис. 4, вследствие появления ЭДС вращения АД деформируются фрагменты квазисинусоидального напряжения, что обуславливает повышение тока статора при вращении ротора в сравнении с пусковым режимом (рис. 4). Характер изменения тока статора на интервале коммутации тиристоров определяется индуктивными свойствами АД:

$$u_{кв}(t) = L_{об} \cdot \frac{di_{кв}}{dt} + i_{кв} \cdot R_{об} \quad (12)$$

$$i_{кв}(t) = e^{-t/T_{об}} \cdot \left(c + \int_{t_H}^{t_K} u_{кв}(t) / L_{об} dt \right) \cdot e^{-t/T_{об}} dt, \quad (13)$$

где $T_{об} = L_{об} / R_{об}$ – постоянная времени работы АД;

$L_{об}$ – обобщенная индуктивность асинхронного двигателя;

$R_{об}$ – обобщенное активное сопротивление асинхронного двигателя;

t_H, t_K – моменты начала и окончания интервалов коммутации СТК;

$c = u(t_n)/z_{об}$ – коэффициент, равный отношению мгновенного значения напряжения к обобщенному комплексному сопротивлению асинхронного двигателя.

Из анализа диаграммы формирования фазного квазисинусоидального тока АД (рис. 5) следует, что соотношения действующих значений квазисинусоидальных токов ($f_m=7,14$ Гц) при вращающемся и заторможенном роторе составляют $I_{кв.н.}/I_{кв.х.} = 1,2338$. Это обуславливает необходимость ограничения длительности квазичастотного электропитания по критерию его допустимого нагрева и не противоречит условиям пуска электропривода СК с кратковременной ступенью пониженной скорости.

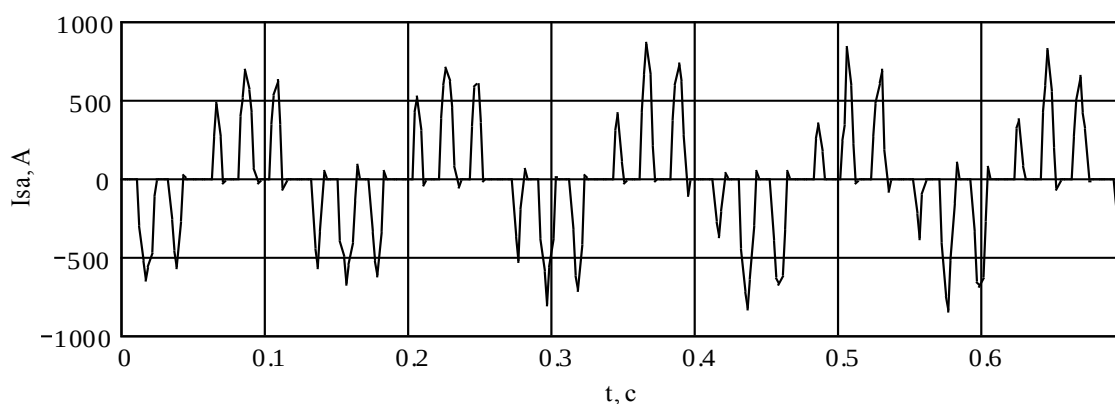


Рис. 5. Результаты моделирования фазного квазисинусоидального тока статора АД в процессе пуска

ВЫВОДЫ

Предложенная методика моделирования позволяет исследовать процессы в системе «асинхронный двигатель – тиристорный коммутатор» при формировании квазичастотных напряжений низких частот модуляции. Предметом дальнейших исследований являются особенности протекания электромагнитных процессов в асинхронном двигателе при квазичастотном электропитании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маренич К.Н. Асинхронный электропривод подземного скребкового конвейера с тиристорным пускозащитным аппаратом: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Маренич Константин Н; ДПИ. – Донецк, 1991. – 238с.
2. А.с. 1517107 СССР, МКИ Н 02 Р 7/42. Способ ступенчатого регулирования частоты вращения асинхронного электродвигателя с тиристорным коммутатором / И.Т. Сидоренко, К.Н. Маренич, В.Б. Шевчик. (СССР).

– №4142144/24-07; заявл. 04.11.86; опубл. 23.10.89, Бюл. № 39.

3. Фираго Б.И. Исследование электромагнитного момента асинхронного двигателя, питаемого от НППЧ / Б.И. Фираго, С.Н. Павлович // Известия высших учебных заведений – Энергетика. – 1974. – № 9. – С. 65-70.

4. Основы теории цепей: учеб. для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

Получено: 13.05.26

Рекомендовала к публикации канд. техн. наук Маренич О.К.

UDC 621.314.572

A. A. TARANENKO, head of department,

D. E. VOLKOV, engineer in-chief of department,

O. N. NOVIKOVA, leading engineer; GBU DONGIPROSHAKHT, Donetsk

**PROCESSES OCCURRING BY QUASI-FREQUENCY POWER SUPPLY
OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR OF A CHAIN-AND-FLIGHT
CONVEYOR**

In this research paper the processes of quasi-frequency power supply of an asynchronous motor of a chain-and-flight conveyor have been investigated. A mathematical model has been developed of a system 'asynchronous motor - thyristor switch' considering the impact of electrical parameters of the motor and of the power circuit. A simulation of the process of shaping of quasi-sine-curve voltages and currents has been performed; the particularities of motor performance under low frequent modulation have been detected. The results obtained may be applied for development of systems of monitored start of an electric motor of a chain-and-flight conveyor.

Keywords: asynchronous motor, chain-and-flight conveyor, quasi-frequency control, thyristor switch, mathematic simulation, electric motor.

УДК 622.882:504.06

С.А. МЕЛЬНИКОВ, *ученый секретарь,*

Л.Н. КАПРАН, *зав. лаб.,*

С.А. РУССИЯН, *канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,*

А.А. СИДАРКЕВИЧ, *мл. науч. сотр.; ГБУ «ДОНУГИ», г. Донецк*

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА

Показана необходимость переработки и полной утилизации породных отвалов на территории Донбасса, способствующие их эффективному использованию для решения социальных, экономических и экологических проблем.

Ключевые слова: породные отвалы, переработка породы, рекультивация, террикон, строительные материалы, редкоземельные металлы.

Терриконы являются символом шахтерского края, его неотъемлемой частью. За время работы угольных предприятий на территории Донбасса образовались более 1200 породных отвалов – терриконов, площадь которых составляет порядка 5 тыс. га, а с учетом санитарно-защитной зоны около 30 тыс. га [1]. На территории города Донецка расположено более 100 породных отвалов, при этом 20% из них – горящие [2].

Выдача горной массы из шахты оказывает негативное влияние на окружающую среду, так как отвалы горят внутри и, в среднем, за сутки могут выделить около 10 т оксида углерода и значительное количество примесей других газов. Кроме того, отвалами занято около 24 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения, из которых примерно 4,3 тыс. га отработаны и подлежат рекультивации, нарушен естественный ландшафт земной поверхности, загрязнены водоемы шламовыми водами.

Все изложенное указывает на актуальность и важность проблемы переработки и полной утилизации отходов угледобывающей отрасли.

Цель работы – определить целесообразность использования и основные направления переработки и утилизации породных отвалов.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 06.10.2025 года № 2793-р утвержден План мероприятий – «дорожная карта» – для использования отходов угледобывающей промышленности при производстве

продукции, направленные на реализацию федерального проекта «Экономика замкнутого цикла».

Министерством Минприроды РФ утвержден «Порядок использования отходов недропользования, в том числе, вскрышных и вмещающих горных пород, пользователями недр» (Приказ Минприроды России и Роснедр от 25 апреля 2023 года №247/04), в котором указывается, что, если отходы недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих пород, содержат, в соответствии с геологической информацией о недрах, полезные ископаемые или полезные компоненты, не относящиеся к общераспространенным полезным ископаемым, использование их допускается после извлечения полезных ископаемых и полезных компонентов.

Поэтому, в настоящее время многие институты начали заниматься вопросами переработки породных отвалов, взяв одно из направлений переработки и утилизации. Однако, из заявленных на сегодня научно-исследовательских работ, ни одна не предусматривает утилизацию породных отвалов, используя технологию замкнутого цикла [2]. Следует отметить, что без четкого представления последовательности выполнения работ, связанных с утилизацией отвалов, вкладывать средства в отдельные работы, нет смысла, так как они носят фрагментарный характер и не решают задачу утилизации породных отвалов в полном объеме.

Для эффективного решения задач, предусмотренных Распоряжением Правительства РФ, Приказом Минприроды и Роснедр от 25 апреля 2023 года № 247/04, необходимо разработать Региональную программу, способствующую эффективному использованию отходов угольной промышленности.

Ученым Советом ГБУ «ДОНУГИ» в 2024 г. проведено заседание «круглого стола» с участием руководителей и научных сотрудников ГКНТ ДНР, ФГБОУ ВО «ДОННТУ», ГКУ «НИИ «РЕСПИРАТОР», ГБУ «Донгипрошахт», ООО «ХИМТРЕЙД» для разработки мероприятий для организации работ по утилизации породных отвалов.

На заседании «круглого стола» определены следующие приоритетные направления использования, переработки и утилизации породных отвалов:

- извлечение угля;
- сжигание породной массы с содержанием угля от 35% до 40%;
- получение тепловой энергии;
- разработка технологий и оборудования, позволяющих оставлять породу в горных выработках;
- использование в качестве сырья для производства строительных

материалов;

- извлечение редкоземельных химических элементов;
- установка объектов возобновляемой энергетики и систем накопления энергии.

В научной литературе есть ряд предложений по использованию поверхности отвалов для размещения ветровых и солнечных установок [3,4]. Донецкий регион обладает большим потенциалом с точки зрения использования возобновляемых источников энергии. Так, например, на высоте 10 метров (официально принятая высота замера скорости ветра над землей) ветровой потенциал в городе Новоазовске (ДНР) характеризуется средне-годовой скоростью ветра 5,44 м/с [4].

Известно, что с ростом высоты растет и скорость ветра. Одной из наиболее распространенных моделей является степенной закон изменения средней скорости ветра, который описывает зависимость скорости ветра v от высоты h [7]:

$$v(h) = v_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha}, \quad (1)$$

где v_{ref} – скорость ветра на опорной высоте h_{ref} ,

α – показатель, зависящий от характеристик местности.

В (1) показатель степени α определяется экспериментально. Он зависит от типа местного ландшафта, и может изменяться в диапазоне $\alpha \in [0,14; 0,4]$. В [7] для крупных городов рекомендуется принимать $\alpha \in [0,33; 0,4]$, для пригородов $\alpha \in [0,22; 0,28]$ и $\alpha < 0,2$ – для равнин.

На рисунке приведена зависимость скорости ветра от высоты для различных типов местности: равнины $\alpha = 0,15$, пригорода $\alpha = 0,25$, города $\alpha = 0,35$ на опорной высоте $h_{ref} = 10$ м и скорости ветра $v_{ref} = 5,44$ м/с.

Искусственное возвышение в виде отвалов, высота которых может меняться от 30 до 100 м и более, согласно (1), дает прирост увеличения скорости ветра в городской черте при $\alpha = 0,35$ от 2,6 до 6,8 м/с соответственно.

С ростом высоты растет и повторяемость ветра. На высоте от 10 до 20 м повторяемость энергетически полезного ветра составляет от 25% до 30% в условиях средней полосы России. На высоте 200 м повторяемость ветра достигает своего максимума и составляет от 80% до 98%. С учетом увеличения длительности работы ветряка, можно считать, в первом приближении, что суммарная годовая выработка энергии растет пропорцио-

нально высоте расположения ротора ветроустановки. Поэтому оценка эффективности использования отвалов Донбасса для ветровых установок представляет собой особую актуальность [3,4].

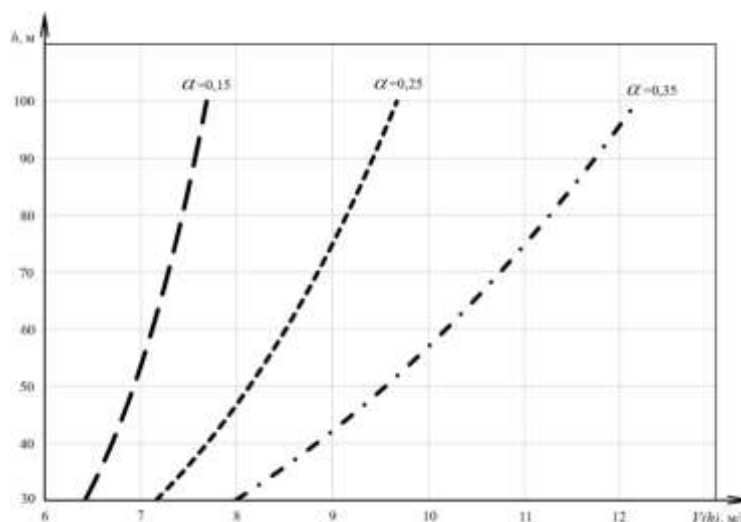


Рисунок – Зависимость скорости ветра от высоты для разных типов местности

Для активизации работ по переработке и утилизации отходов в ГБУ «ДОНУГИ» создана лаборатория для изучения рационального использования, переработки и утилизации отвалов.

В план научно-исследовательских работ ГБУ «ДОНУГИ» на 2026 год включена НИР «Выполнить анализ и экономическое обоснование направлений по переработке и утилизации породных отвалов», которая соответствует п.10 Плана мероприятий – «дорожная карта» для создания системы и инфраструктуры, использующих побочные продукты производства, вторичные ресурсы и др.

По мнению авторов, огромный потенциал при разработке конкретных решений для переработки и утилизации породных отвалов имеют ВУЗы. В настоящее время согласно принятому решению «круглого стола» и во исполнение Договора о сотрудничестве в сфере науки и образования между ГБУ "ДОНУГИ" и ФГБОУ ВО "ДонНТУ" ведется совместная работа для решения следующих задач:

– разработки технологии замкнутого цикла и создания промышленной установки для сжигания отвалов, горная масса которых имеет зольность до 65% для получения тепловой и электрической энергии. Ожидаемый годовой экономический эффект от использования одной такой установки только для получения тепловой энергии, в зависимости от мощности,

составит от 15 до 90 млн. руб./год [2];

- формирования экономически обоснованных технологических схем переработки отвалов;
- извлечения железосодержащего сырья, редкоземельных химических элементов, силикатных материалов для производства строительных материалов, сырья, содержащего алюминий для переработки или организации собственного технологического цикла производства алюминия;
- получение топлива из породных отвалов;
- использования для ремонта дорожного покрытия, строительных работ и получения строительных материалов, в частности, разработки технологий и производства газобетонных изделий неактивного твердения для восстановления жилья на новых территориях;
- рециклинга породной массы для производства добавок к удобрениям.

Для решения этих задач на базе Министерства природопользования ДНР необходимо создать Центр, координирующий работы, связанные с переработкой и утилизацией породных отвалов.

Переработка отвалов обеспечит:

- сокращение расходов на поиск новых и использование эксплуатируемых месторождений полезных ископаемых;
- сохранение ресурсов в недрах, так как запасов полезных ископаемых, накопившихся в отвалах, достаточно для удовлетворения потребности в топливе;
- производство дешевых стройматериалов;
- освобождение занимаемых породными отвалами земель и ликвидацию источников загрязнения окружающей среды.

Формирование обобщенной методологии, включающей экологический мониторинг, классификацию, поиск путей рекультивации, утилизации, а также эффективное и рациональное использование породных отвалов Донбасса.

Ключ к эффективному и рациональному использованию породных отвалов Донбасса может лежать в разработке оптимизационной задачи, где в качестве целевой функции выступит функция полезности $F(U)$, на множестве допустимых альтернатив [5]:

$$U = \{U_{Y_1}, U_{Y_2}, U_{Y_3}, U_{Y_4}\}, \quad (2)$$

где U_{Y_i} – геолого-химический состав, логистические ограничения, горящий

/ потухший, способы эффективного использования породных отвалов;
 $i - [1, 2, 3, 4]$.

Достижение наиболее рационального решения оптимизационной задачи, при реализации мероприятий по обоснованным направлениям использования породных отвалов, заключается в максимизации экономической выгоды, но с обязательным учетом ограничений по минимизации экологического вреда окружающей среде региона.

ВЫВОДЫ

Переработка породных отвалов будет способствовать их эффективному использованию, решению социальных, экономических и экологических проблем, а именно:

- созданию рабочих мест для технологического обслуживания установок по переработке и утилизации породных отвалов;
- использованию природного тепла при минимальных финансовых затратах, получению тепловой энергии, использованию пород в качестве строительных материалов;
- восстановлению экосистемных функций региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко, Л.И. Перспективы использования горелых пород шахтных отвалов / Л. И. Коваленко, Н. П. Омельченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Проблеми екології. – 2009. – № 1-2. – С. 16-19.
2. Комсомольская правда [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.donetsk.kp.ru/daily/27677/5029138/> (дата обращения: 10.04.2026).
3. Комсомольская правда [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.donetsk.kp.ru/daily/27771/5232521/> (дата обращения: 10.04.2026)
4. Макеева, Д. А. Перспективы использования автономных энергетических комплексов, расположенных на породных отвалах / Д. А. Макеева, А. К. Кралин // Высокие технологии в строительном комплексе – ВГТУ, 2022. – № 1. – С.195-201.
5. Конохов, Н. Н. Сила в ветре? / Н. Н. Конохов // Энергосбережение. – 2009. – № 4. – С. 32-34.
6. Борщевский, С.В. Породные отвалы угольных шахт Донбасса: мониторинг, классификация и пути рационального использования / С.В. Борщевский, С.А. Руссиян, С.Н. Ткаченко // Труды РАНИМИ. – Донецк, 2025. – № 7 (45). – С. 219-225.

7. Поддаева, О.И. Архитектурно-строительная аэродинамика / О.И. Поддаева, А.С. Кубенин, П.С. Чурин. – Москва: НИУ МГСУ, 2015. – 88 с.

Получено: 25.05.26

Рекомендовал к публикации д-р техн. наук Борщевский С.В.

UDC 622.882:504.06

S. A. MELNIKOV, *scientific secretary,*

L. N. KAPRAN, *head of laboratory,*

S. A. RUSSIYAN, *PhD. Eng., senior research worker,*

A. A. SIDARKEVICH, *junior research worker; GBU DONUGI, Donetsk*

PRINCIPLE DIRECTIONS OF USE OF WASTE HEAPS OF DONBAS COAL MINES

This research paper demonstrates the necessity of processing and comprehensive utilization of waste heaps inside the territory of Donbas contributing their effective use for solution of social, economic and ecological problems.

Keywords: waste heaps, processing of rock, restoration, waste pile, construction materials, rare-earth metals.

III. ОХРАНА ТРУДА

УДК 622.831

Я.Н. БОЙКО, зав. лаб.,

Р.М. БОГОУДИНОВ, зав. отд.,

М.Ф. РЫЖКОВ, зав. лаб.,

А.А. ЧЕРНИГОВЦЕВ, инж.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОДЫ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА ПРИ ГИДРОРЫХЛЕНИИ

Показаны результаты экспериментальных исследований распределения воды в пласте при гидрорыхлении призабойной части массива. На основе аналитического и графического методов исследований получены зависимости распределения воды от глубины и герметизации скважин, трещиноватости угля.

Ключевые слова: фильтрация, гидрообработка, естественная влажность угля, глубина герметизации, призабойная часть, изолинии влажности, скважина.

Гидрорыхление угольных пластов является наиболее распространенным локальным способом предотвращения динамических явлений в шахтах. Основные параметры способа регламентируются [1]. Однако опыт показал, что, как в процессе применения гидрорыхления, так и после него, происходят ДЯ. Одной из основных причин их возникновения согласно [2] является несоответствие параметров способа горно-геологическим условиям на участках его выполнения. На эффективность гидрорыхления пласта влияет распространение воды при нагнетании, исследование которого является актуальной задачей, способствующей выбору оптимальных параметров способа.

Цель работы – ознакомить специалистов, занимающихся проблемами борьбы с динамическими явлениями с результатами исследований распределения влаги в пласте в процессе и после гидрообработки.

Для определения распределения воды в пласте в процессе и после гидрообработки проводились: визуальные наблюдения, определение скорости распространения воды в пласте в разных направлениях и анализ влажности угля в пределах исследуемого участка пласта.

При визуальном наблюдении определяли места выхода воды на поверхность угольного забоя из: отдельных пачек пласта, соседних скважин, контактов пласта с боковыми породами, трещин в породах почвы и кровли.

Для определения скорости движения воды в разных направлениях опытным путем определяли время ее движения к специально оборудованным контрольным камерам, расположенным в глубине массива на разном удалении от нагнетательной скважины. Появление воды в контрольных камерах, а также в местах выхода воды на поверхность забоя, согласовывалось с моментом начала нагнетания и, таким образом, определяли скорость.

Распределение воды в пласте после гидрообработки оценивалось по результатам анализа проб угля на содержание рабочей влаги. Пробы отбирались из угольных пачек пласта через каждые 2–3 м по длине забоя на участке протяженностью до 15 м в обе стороны от скважины, и через каждые 0,8 – 2,4 м по мере подвигания очистного забоя. Анализ проб проводили в лабораториях шахт и МАКНИИ в соответствии с [3].

Опыты по изучению распространения воды в угольном массиве производили на пластах h_7 – Смоляниновский, h_{10} – Ливенский и m_3 – Александровский в условиях шахт им. М.И. Калинина, им. А.Ф. Засядько ш/у «Донбасс» ПО «Донецкуголь».

Визуальные наблюдения за распространением воды в окрестностях скважин при нагнетании, проведенные в разных горно-геологических условиях, показали, что, как правило, нагнетание через скважины, пробуренные со стороны забоя, сопровождается выходом воды в выработку. При этом вода выходит на забой в виде прорыва или «капежа» в отдельных, преимущественно мягких пачках угля, иногда прослойкам небольшой мощности, в отдельных случаях – контактам пласта с боковыми породами и между отдельными пачками, редко – по всей мощности пласта. Выход воды на забой наблюдался на разных расстояниях от скважины, иногда превышающих 30 м.

В процессе нагнетания отмечено деформирование призабойной части пласта, проявляющееся в отжиме угля в выработку, в усилении давления на призабойную крепь и сближении пород кровли и почвы. После окончания гидрообработки наблюдается интенсивное истечение воды из угольного массива в выработку через скважину для нагнетания, а также трещины, образовавшиеся в пласте в результате нагнетания.

Определение скорости распространения нагнетаемой воды в разных

направлениях проводилось в коренной западной лаве пласта h_{10} ш/у «Донбасс». Было оборудовано 13 специальных наблюдательных пунктов (станций) с разным расположением контрольных камер относительно устья скважин. Нагнетание воды проводили при разной глубине герметизации скважин.

На рис. 1 показана схема расположения контрольных камер в окрестности скважины и проведены линии фронта фильтрующейся воды, характеризующие конфигурацию участка пласта, насыщенного водой, через 5, 10, 15 и 20 минут нагнетания.

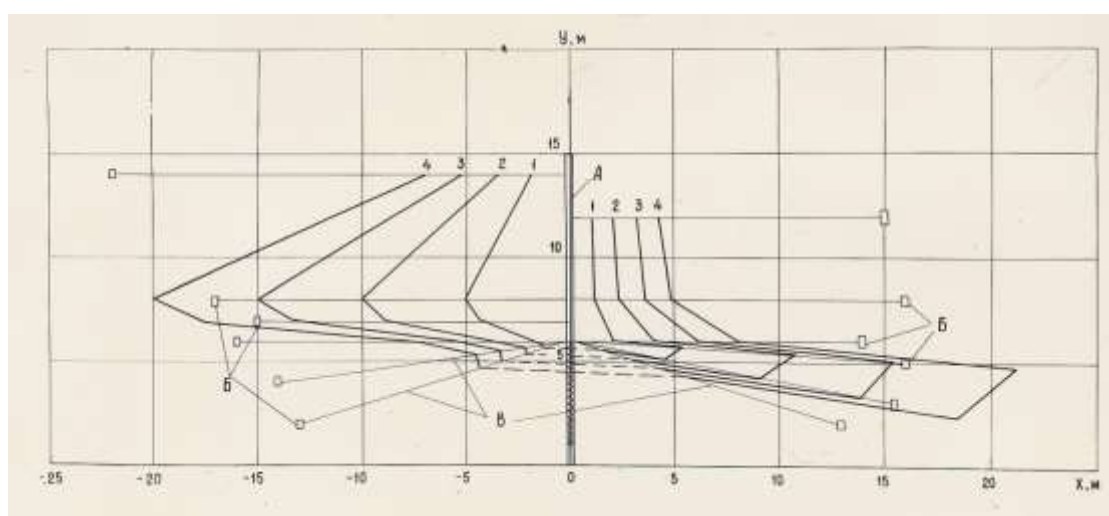


Рис. 1. Схема расположения контрольных камер в окрестности нагнетательной скважины:

А – нагнетательная скважина с герметизатором; Б – контрольные камеры;
В – предполагаемые линии тока воды; 1, 2, 3 и 4 – линии фронта воды через, соответственно 5, 10, 15, и 20 минут нагнетания

Анализируя распространение воды в массиве видно, что при глубине герметизации 6 м поток распространяется, преимущественно, в стороны от скважины, под некоторым углом к линии забоя. В результате проведения исследований установлено, что распространение воды в призабойной части пласта зависит от глубины герметизации скважины. Анализ этих зависимостей позволил сделать следующие выводы:

- при глубине герметизации меньше 4 м, вода распространяется преимущественно к поверхности забоя и прорывается в выработку через 15 – 20 минут после начала гидрообработки;
- при глубине герметизации от 4 до 8 м, вода распространяется пре-

имущественно параллельно линии забоя и выходит в выработку примерно через час после начала нагнетания;

– при глубине герметизации больше 8 м, продолжительность гидрообработки до выхода воды на поверхность забоя составляет от 1,5 до – 2,0 часов.

Оценка распределения влаги в пласте после гидрообработки производилась графическим и аналитическим методами в результате анализа проб угля на содержание рабочей влаги.

Графический метод заключался в построении изолиний влажности в окрестности скважины.

На рис. 2 показана картина распределения влажности в окрестности нагнетательной скважины.

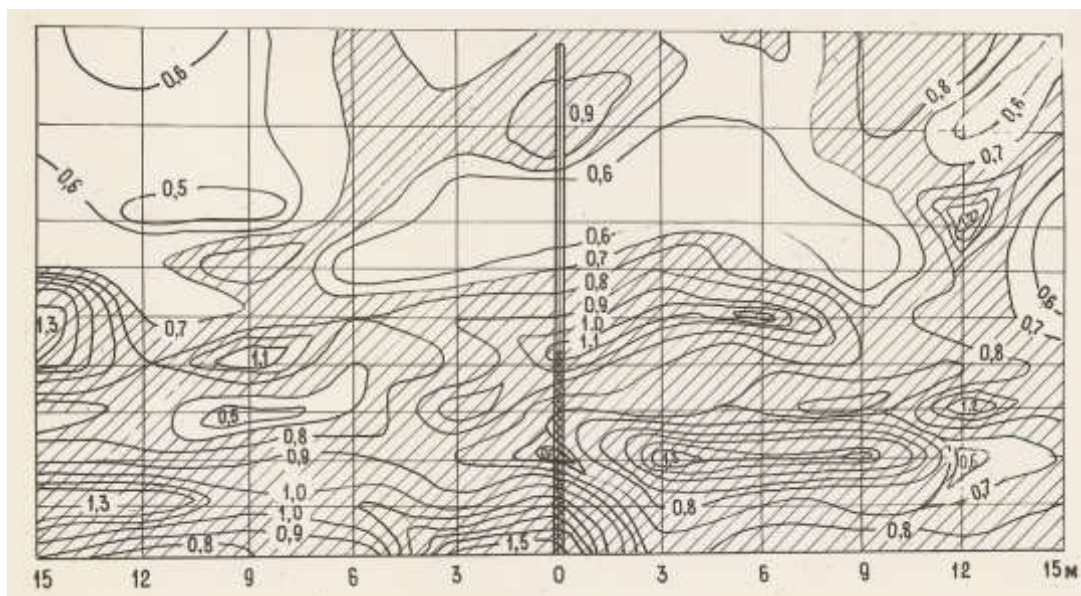


Рис. 2. Распределение влажности в пласте в окрестности нагнетательной скважины

Аналитический метод включал в себя определение главных показателей, характеризующих распределение влаги в пласте: среднего значения влажности $\bar{W}$, коэффициента изменения влажности K_W , прироста влажности ΔW_i . При этом исследовался характер изменения этих показателей по мере удаления от скважины и подвигания забоя в зоне гидрообработки.

Среднее значение влажности определялось по формуле:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{n}, \quad (1)$$

где $\bar{W}$ – среднее значение влажности, %,
 W_i – влажность угля в месте отбора пробы, %,
 n – количество проб по линии наблюдения.

Коэффициент изменения влажности по глубине скважины определялся из выражения:

$$K_W = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i - \bar{W}}{\bar{W}} \right)^2}{n-1}}. \quad (2)$$

Прирост содержания влаги в месте отбора пробы определяется:

$$\Delta W_i = W_i - W_e, \quad (3)$$

где W_e – естественная влажность пласта до нагнетания воды, %.

Оценку распределения влаги в пласте осуществляли опытным путем в результате исследования проб на влажность после гидрообработки призабойной части угольного массива.

В этом случае нагнетание воды было произведено в коренной западной лаве пласта h_{10} ш/у «Донбасс». Скважину для нагнетания воды длиной 15 м и диаметром 0,042 м пробурили на расстоянии 30 м от откаточного штрека. При глубине герметизации 6 м в пласт было закачено 6,2 м³ воды. Время нагнетания составило 4500 с. Давление воды на выходе насосной установки 2-УГН плавно снизилось от 16,0 до 11,0 МПа. Пробы для определения содержания влаги отбирались в трех угольных пачках пласта через каждые 3 м по падению и 1,4 м по простиранию.

Анализируя изолинии влажности, видим, что распределение влаги в пласте характеризуется неравномерностью. Несколько большей равномерностью отличается распределение влаги по линиям, параллельным забою лавы. Уменьшение K_W , по мере продвижения забоя, указывает на выход воды из обработанного участка и вход в нетронутый массив. Механизм распределения воды в пласте можно объяснить трещинообразованием в условиях неравнокомпонентного поля напряжений.

Прирост средних значений влаги в пласте, по сравнению с естественной влажностью угля, по мере удаления в стороны от нагнетательной скважины и по мере продвижения забоя показано на рис. 3.

Резкое уменьшение прироста влаги в пласте, по мере продвижения за-

боя, свидетельствует об уходе воды из массива после окончания нагнетания. Это подтверждается наличием большого количества влаги в нижней части пласта и визуальными наблюдениями выхода воды из нагнетательной скважины сразу же после извлечения гидрозатвора.

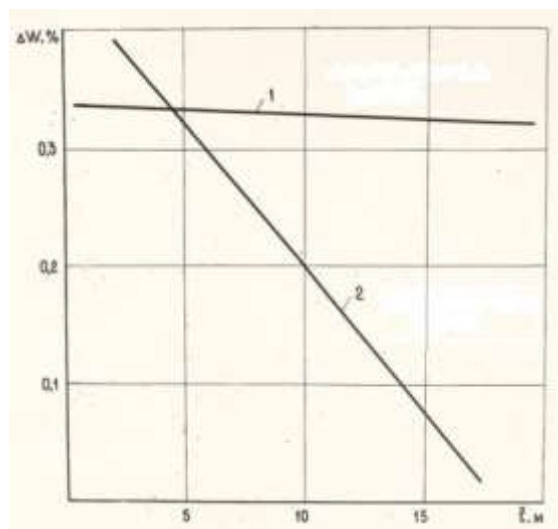


Рис. 3. Прирост средних значений влаги в угольном массиве:

1 – в стороны от нагнетательной скважины;

2 – по мере подвигания забоя

В ранее выполненных исследованиях МакНИИ [4, 5] показано, что неравномерность распределения прироста влажности является функцией глубины герметизации нагнетательных скважин. При этом наименьшая неравномерность отмечается при глубине герметизации, превышающей мощность пласта в 5–7 раз, однако она характеризуется высоким коэффициентом изменения влажности.

Опыты по нагнетанию в пласт воды с добавкой радиоактивного вещества подтвердили неравномерность распределения воды в призабойной части пласта. Установлено, что в пределах исследуемых участков имеются области, в которые «подкрашенная» вода не поступала [5].

ВЫВОДЫ

В результате наблюдений установлено, что:

- распространение воды в призабойной части пласта зависит от глубины герметизации скважин – с увеличением глубины вода распространяется параллельно забою;
- распределение влаги в пласте характеризуется высокой неравно-

мерностью;

- при сложном строении пласта вода проникает во все угольные пачки;
- после окончания гидрообработки вода вытесняется из угольного массива.

Полученные результаты целесообразно использовать при совершенствовании способа гидрорыхления призабойной зоны пласта в усложнившихся горно-геологических условиях глубоких шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений», утверждены Приказом Ростехнадзора от 10.12.2020 № 515. – 96 с.
2. К вопросу применения гидрорыхления угольных пластов для предотвращения динамических явлений в шахтах / Р.М. Богоудинов, М.Ф. Рыжков, А.Д. Бондаренко [и др.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сборник / МАКНИИ. – 2025. – Вып.4 (71). – С. 6-12
3. ГОСТ 11014-2001. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы. Ускоренные методы определения влаги: межгосударственный стандарт: дата введения 2003-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. официальное. – Москва: Госстандарт, 2003. – 4 с.
4. Установить параметры и область применения способа для предотвращения внезапных выбросов угля и газа с помощью нагнетания воды через скважины, пробуренные со стороны очистного забоя: тех. отчет / Фонды МакНИИ. – Макеевка, 1972. – 193 с. 2401 Б 223934
5. Горягин Л.Ф. Изменчивость зоны разгрузки впереди подвигаемого забоя после гидрорыхления пласта / Л.Ф. Горягин, Т.Я. Мхатвари, А.И. Ризниченко // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело: науч.- техн. реф. сб. / ЦНИЭИНуголь. – 1982. – № 2. – С. 10-11.

Получено: 16.03.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.831

Ya. N. BOYKO, *head of laboratory*,
R. M. BOGOUDINOV, *head of department*,
M. F. RYZHKOV, *head of laboratory*,
A. A. CHERNIGOVTSSEV, *engineer*; **GBU MAKNI**, *Makeyevka*;

**WATER DISTRIBUTION IN A BOTTOM-HOLE AREA
DURING HYDRAULIC LOOSENING**

This research paper presents the results obtained in experimental studies of water distribution in a layer during hydraulic loosening of a bottom-hole area; the dependences have been determined of this distribution due to coal fracture density, the depth of the boreholes and their sealing in on basis of analytical and graphical approaches.

Keywords: filtration, hydrotreating, natural humidity of coal, sealing depth, bottom-hole area, isolines of humidity, borehole.

УДК 622.831

М.Ф. РЫЖКОВ, зав. лаб.,
Я.Н. БОЙКО, зав. лаб.,
Р.М. БОГОУДИНОВ, зав. отд.,
С.А. РИЗНИЧЕНКО, инж.,
Л.М. ЛЕВЧЕНКО, инж.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О ВЛИЯНИИ ГИДРОРЫХЛЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МАКСИМУМА ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния гидрорыхления на изменение положения максимума опорного давления в очистных забоях выбросоопасных угольных пластов. Установлено, что гидрорыхление призабойной зоны пластов способствует перемещению зоны опорного давления на глубину до 7 метров, что обеспечивает безопасные условия ведения горных работ на выбросоопасных пластах.

Ключевые слова: максимум зоны опорного давления, выход штыва, гидрообработка, критическое давление жидкости, фильтрующая камера, напряженное состояние.

Сущность гидрорыхления, как локального противовыбросного мероприятия, согласно [1], заключается в разрушении угля внутри массива водой под давлением, сопровождающемся снижением напряжений и дегазацией призабойной части пласта, способствующим перемещению в глубину массива положения максимума опорного давления и увеличению зоны разгрузки впереди забоя выработки.

Определение зоны максимума опорного давления в зависимости от параметров способа гидрорыхления, горно-геологических условий залегания пласта, формы забоя выработки является актуальной задачей.

Цель работы – исследование влияния параметров гидрорыхления, горно-геологических и горнотехнических условий залегания пласта на изменение положения максимума опорного давления призабойной зоны.

Для изучения пространственного смещения зоны максимума опорного давления в результате нагнетания воды, был выполнен комплекс исследований изменения косвенных показателей, характеризующих положение этой зоны до и после гидрообработки. В качестве таких показателей были выбраны выход угольного штыва с погонного метра скважины при буре-

нии и величина давления жидкости, поступающей в пласт на разном удалении от забоя, т.е. величина критического давления жидкости. Обоснование информативности выбранных показателей приведено в работах [2, 3].

Ранее эксперименты проводились на пластах – Смоляниновский, Ливенский, Александровский, ш/у «Донбасс» и шахты им. Засядько ПО «Донецкуголь».

Со стороны очистного забоя бурили скважину длиной до 10 м и диаметром 0,042 м. Бурение проводили поинтервально – подвигание забоя скважины на 1 м завершалось извлечением буровых штанг, с замером, весовым или объемным методом, количества выбуренного из скважины угольного штыба, и последующим замером критического давления жидкости. Для этого скважину герметизировали специальным герметизатором, оставляя в ее конце фильтрующую камеру, длина которой во всех случаях принималась равной 0,2 м. С помощью ручных насосов ГН-500 и РН-2 в фильтрующую камеру скважины подавали жидкость и фиксировали давление, при котором жидкость поступает в угольный массив. Затем эта скважина использовалась для гидрообработки пласта.

В обработанном массиве осуществляли бурение дополнительных скважин на расстоянии от 3 до 5 м от нагнетательной для измерения выхода угольного штыба и критического давления. Эти измерения проводили по мере подвигания очистного забоя.

По результатам замеров выхода штыба был сделан вывод, что на пластах с крепостью угля $f > 1$ данный метод оценки напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта недостаточно информативен, а на пластах, сложенных углями малой крепости $f < 1$, использование метода оценки напряженного состояния оказалось целесообразным. Замеры выхода угольного штыба в очистных забоях показали перемещение зоны повышенного выделения штыба в глубину массива, а также снижение количества выделяющегося штыба после нагнетания воды.

Информативность метода оценки напряженно-деформированного состояния пласта по изменению критического давления жидкости была подтверждена измерениями, выполненными в заведомо отличающихся по напряженному состоянию участках лавы. При статистической обработке экспериментальных данных, критическое давление жидкости, замеренное на разных расстояниях от линии забоя, рассматривалось как в абсолютных, так и в относительных единицах, т.е. в долях максимальной величины. Это было вызвано тем, что на абсолютные значения давления, полученные при замерах, накладывалось сопротивление прибора, которое не всегда было постоянным по техническим причинам, и, кроме того, в различных циклах

замеров использовались жидкости не одинаковой вязкости. В частности, в качестве рабочих жидкостей использовались вода и вода с добавлением поверхностно-активных веществ.

На рис. 1 показаны зависимости критического давления жидкости, выраженного в относительных единицах, от глубины замера, характерные для необработанного нагнетанием воды массива: кривая 1 – в районе нижней ниши, кривая 2 – в зоне полного обрушения кровли.

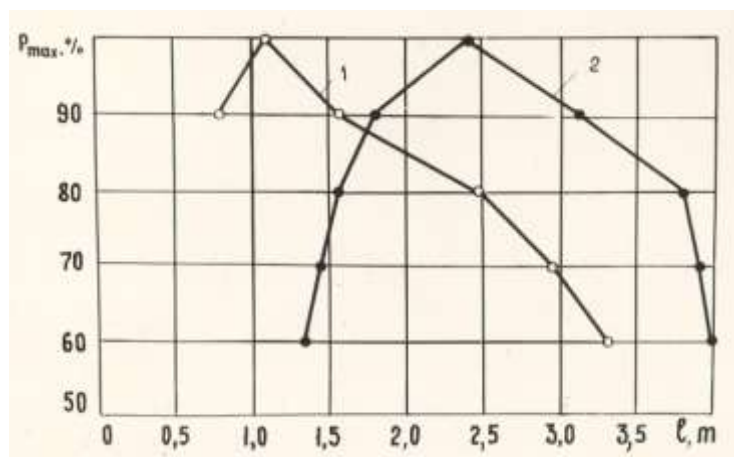


Рис. 1. Зависимость критического давления жидкости от глубины замера

Анализируя зависимости, приведенные на рис. 1, можно сделать вывод, что на пластах h_{10} и m_3 в районе расположения ниш зона максимума критического давления жидкости расположена приблизительно в 2 раза ближе к забою, чем в средней части лавы в районе полного обрушения кровли.

На рис. 2 приведены зависимости критического давления жидкости в абсолютных единицах от глубины замера, характерные для необработанного и обработанного нагнетанием воды угольного массива в условиях пластов h_{10} и m_3 .

Анализ графиков рис. 2 показывает, что нагнетание воды в пласт способствует перемещению зоны максимума критического давления жидкости, а, следовательно, и зоны максимума опорного давления вглубь массива.

Зависимость зоны максимальных значений критического давления жидкости от подвигания забоя после нагнетания воды показана на рис. 3.

Анализируя график, приведенный на рис. 3, можно сделать вывод, что после гидрообработки зона максимума опорного давления остается

удаленной от забоя на расстояние, равное глубине герметизации скважин. По мере дальнейшего продвижения забоя, т.е. по мере перехода обработанной нагнетанием зоны пласта, область максимальных значений критического давления жидкости приближается к забою на расстояние, характерное для необработанного нагнетанием воды массива.

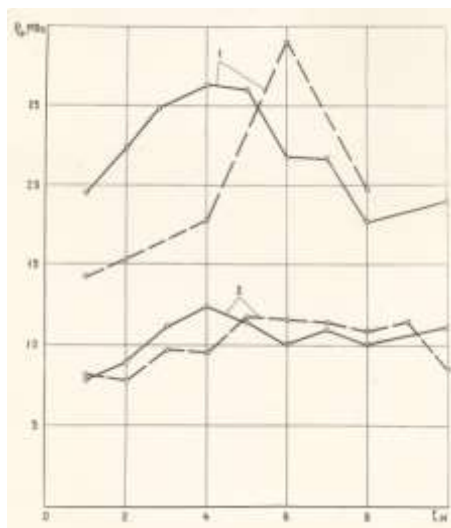


Рис. 2. Положение зоны максимума критического давления жидкости до и после нагнетания воды в пласты 1– h_{10} и 2 – m_3 :
_____ – до нагнетания, _ _ _ _ _ – после нагнетания

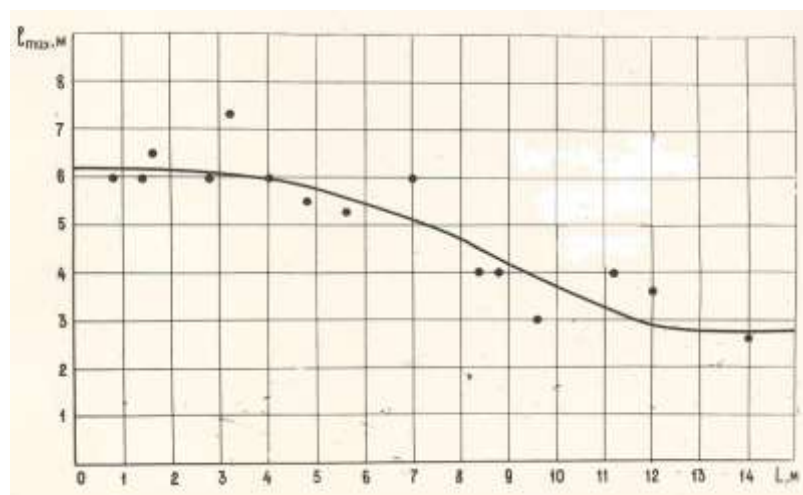


Рис. 3. Зависимость расстояния до зоны максимума опорного давления $l_{\max}$ от продвижения забоя L после гидрообработки

Таким образом, исследование положения зоны максимума опорного давления впереди очистного забоя показало, что нагнетание воды в пласт

приводит к смещению этой зоны вглубь массива с 3 – 4 до 6 – 7 м.

ВЫВОДЫ

Приведены результаты изменения положения максимума опорного давления в призабойной зоне пласта в зависимости от факторов, влияющих на эффективность гидрорыхления.

Выполненные экспериментальные исследования показали эффективность гидрорыхления для перемещения зоны максимума опорного давления в очистных забоях на глубину с 3 – 4 до 6 – 7 м, обеспечивающую безопасные условия ведения горных работ на выбросоопасных пластах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений», утверждены Приказом Ростехнадзора от 10.12.2020. № 515. – 96 с.
2. Карагодин Л.Н. Способы борьбы с внезапными выбросами угля и газа / Л.Н. Карагодин, Е.С. Розанцев. – Москва: Недра, 1973. – 206 с.
3. Печук И.М. Применение гидроразмыва для предохранения от внезапных выбросов угля и газа / И.М. Печук, А.Н. Кульбачный // Уголь. – 1960. – № 12. – С. 34-37.

Получено: 05.05.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.831

M. F. RYZHKOV, head of laboratory,
Ya. N. BOYKO, head of laboratory,
R. M. BOGOUDINOV, head of department,
S.A. RIZNICHENKO, engineer,
L.M. LEVCHENKO, engineer; GBU MAKNI, Makeyevka

EFFECT OF HYDRAULIC LOOSENING ON THE CHANGE IN MAXIMUM POSITION OF BEARING PRESSURE IN THE BOTTOM-HOLE AREA

In this research paper the results of experimental investigations of the effect of hydraulic loosening on the change in maximum position of bearing pres-

sure in the working faces of outburst-prone coal seams are presented. It has been established that hydraulic loosening of the bottom-hole area of the seams facilitates the movement of the bearing pressure zone to a depth of up to 7 meters, which ensures safe mining conditions in outburst-prone seams.

Keywords: maximum bearing pressure zone, drilling mud outbreak, hydraulic treatment, critical fluid pressure, filtering chamber, stressed condition.

УДК 622.831

В.Г. ЗОЛОТИН, канд. техн. наук, зав лаб.,

А.В. НИКИФОРОВ, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,

А.И. КАРПЕНКО, вед. инж.; институт «Якутнипроалмаз», г. Мирный

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОНАПОРНОГО НАГНЕТАНИЯ ЖИДКОСТИ В РЕЖИМЕ ГИДРОРЫХЛЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ВЫБРОСАМИ ПОРОДЫ И ГАЗА В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ» АК АЛРОСА (ПАО)

Выполнен анализ результатов высоконапорного нагнетания жидкости в режиме гидрорыхления для борьбы с выбросами породы и газа. Оценка влияния процесса гидрорыхления на изменение газодинамического состояния массива в призабойной части подготовительной выработки основана на анализе изменения показателей газовыделения.

Ключевые слова: выброс породы и газа, противовыбросное мероприятие, гидрорыхление, подготовительная выработка, газовыделение.

Проведение подготовительных выработок по пластам, склонным к динамическим явлениям, при прогнозе «опасно», необходимо осуществлять с противовыбросными мероприятиями [1]. Последние, по степени воздействия на массив, можно условно разделить на три группы: взрывное воздействие, высоконапорное нагнетание жидкости, бурение разгрузочных дегазационных скважин.

В [2] показано, что за период с 1960 г. по 2023 г. на шахтах Донбасса при проведении подготовительных выработок буровзрывными работами (БВР) произошли 4332 выброса породы (песчаника) и газа. Для предотвращения выбросов породы и газа (ВПП), в основном, применяется взрывное воздействие с разными вариациями параметров БВР.

Исследования [3, 4] показали, что основным фактором, приводящим к ВПП, является напряженно-деформированное состояние массива в призабойной части подготовительной выработки, а быстрое перераспределение горного давления, происходящее при взрывной отбойке массива, приводит к выбросу [5].

Одним из наиболее распространенных способов борьбы с выбросами угля и газа, основанных на невзрывном воздействии на выбросоопасный массив, является гидрорыхление.

Массив, вмещающий карбонатные породы подземного рудника «Интернациональный» АК «АЛРОСА» (ПАО), с глубины 1190 м (абс. отм. –790 м) и ниже отнесен к склонным к внезапным ВПГ. За весь период работ на руднике было зарегистрировано более 40 ВПГ, произошедших при выполнении БВР, что привело к снижению темпов проведения выработок и увеличению затрат, связанных с ликвидацией последствий.

Анализ опыта гидрорыхления, представленный в [6], показал его эффективность для предотвращения выбросов угля и газа, поэтому оценка возможности его использования для борьбы с ВПГ при взрывных работах в условиях рудника «Интернациональный» является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы – определение возможности использования невзрывного способа борьбы с выбросами породы и газа, основанного на высоконапорном нагнетании жидкости в режиме гидрорыхления.

Применение гидрорыхления на угольных пластах направлено на разрушении их структуры, что приводит к разгрузке и дегазации призабойной части выработки.

Поскольку гидрорыхление происходит после заполнения водой трещин, объем которых зависит от множества факторов, то на практике рассчитывают объем воды, подаваемый в скважину, исходя из минимально необходимого ее удельного расхода на 1 т угля в зоне гидрообработки вокруг скважины, принимаемого во всех случаях равным 20 л/т.

На практике фактический объем воды, поданной в скважину, к моменту завершения гидрорыхления, т.е. снижения давления на 30%, как правило, не соответствует расчетному, и приводит или к излишнему водонасыщению пласта и обводнению призабойного пространства выработки, или к недостаточному объему закачанной воды. Таким образом, давление нагнетания и объем воды, подаваемой в пласт, зависят от природных и геомеханических факторов и должны определяться опытным путем в конкретных условиях ведения горных работ.

Для решения поставленной задачи в 2026 году в условиях рудника «Интернациональный» проводилась горно-экспериментальная проверка насосной установки УНГЛ 90/32 с герметизаторами типа – ГАС45 по высоконапорному нагнетанию жидкости в выбросоопасный доломитовый массив. Объектами испытаний являлись особо выбросоопасный пласт доломита № 24, показавший свою повышенную склонность к ВПГ, и потенциально выбросоопасный пласт доломита № 25.

Поскольку, гидрорыхление для борьбы с ВПГ на руднике не проводили, поэтому основные параметры определяли согласно требованиям, изложенным в [7]: длина шпуров – 4,0 м, количество шпуров нагнетания на один выбросоопасный пласт – 3, глубина герметизации

шпуров 2,0 м при длине фильтрующей части 2,0 м, неснижаемое опережение – 2,0 м. Кроме того, было учтено, что крепость угля находится в пределах от 0,6 до 2,0 у.е. по шкале профессора Протождяконова, крепость доломитов – от 5,0 до 10,0 у.е., а расчетное давление нагнетания в обоих случаях составляет от 20 до 32 МПа.

Принятые рекомендуемые расчетные параметры давления нагнетания рабочей жидкости для достижения эффекта гидрорыхления насосной установкой УНГЛ 90/32 соответствуют диапазону давлений от 0,75 до 1,0 $\gamma\text{Н}$, что на глубине проведения исследований 1350 м составляют от 25 МПа до 35 МПа. Темп нагнетания составлял не менее 3 л/мин. Расчетный объем закачиваемой воды в один шпур длиной 4,0 м составил 1,55 м³. Схемы заложения шпуров для гидрорыхления представлены на рис. 1.

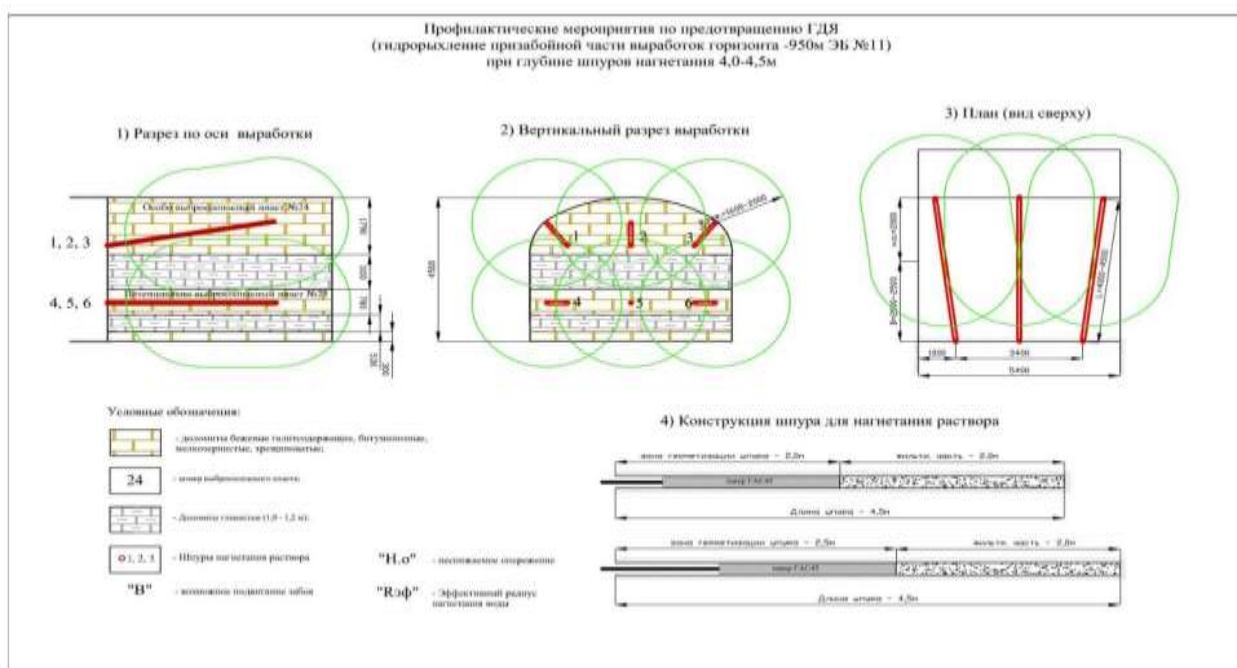


Рис. 1. Схема заложения шпуров для проведения гидрорыхления в транспортном штреке (север) гор. –950 м

После проведения гидрорыхления выполнялась взрывная отбойка для подвигания забоя выработки на 2,0 м.

В период с 24.12.2025 по 29.01.2026 г. были выполнены 14 циклов гидрорыхления массива на участке проведения транспортного штрека (север) гор. –950 м. Для гидрорыхления были пробурены 4 шпура глубиной 4 м при длине фильтрующей части – 2 м. Расчетный объем воды для нагнетания в один шпур – 1,55 м³.

Результаты гидрорыхления представлены в табл. 1.

Таблица 1

Дата проведения	Фактический объем воды, закачанной в один шпур, м ³	Максимальное давление нагнетания, МПа	Снижение давления (не менее 30% от Р _{max}), МПа	Средняя продолжительность нагнетания в шпур, мин.	Категория выбороопасности до/после гидрорыхления, (максимальное газовыделение, л/мин)	Наблюдаемые эффекты
24.12.25	1,3	30	20	15	Неопасно / 0,6	Выделение нефтяного флюида, увлажнение массива, выход воды на плоскость забоя.
26.12.25	0,25	32	20	5	Неопасно, (0,7)	Реакции массива не наблюдались.
29.12.25	0,3	32	7	10	Неопасно, (0,7)	Слабое нефтепроявление, выход воды на плоскость забоя.
03.01.26	1,2	32	28	10	Неопасно, (2,2)	Выделение нефтяного флюида, увлажнение массива, выход воды на плоскость забоя.
06.01.26	2,4	32	20	17	Неопасно, (0,6)	Обильное нефтепроявление, выход воды на плоскость забоя.
08.01.26	0,255	32	20	10	Неопасно, (2,8)	Выход воды из трещин и контрольных шпуров.
12.01.26	0,198	32	21	10	Неопасно, (2,8)	Выход воды из трещин и контрольных шпуров.
15.01.26	0,982	31	27	18	Опасно, (21) / Неопасно, (2,3)	Выход воды из трещин и контрольных шпуров.

При осмотре забоев не зарегистрированы отжимы и нарушения целостности призабойной части выработок, происходящие при гидрорыхлении угольных забоев. Оценку влияния высоконапорного нагнетания жидкости в режиме гидрорыхления на изменение газодинамического состояния выбороопасного доломита осуществляли на основании трех измеряемых параметров:

- начальной скорости газовыделения (НСГ) на участке

транспортного штрека (север) до гидрорыхления и после его выполнения;

- концентрации газа при выполнении режима кратковременного загазирования (КВЗ), т. е., отключении вентилятора местного проветривания в течение 30 мин., и регистрации максимального газовыделения в выработку;

- максимальной концентрации газа, выделяющегося перед выполнением БВР.

Если гидрорыхление будет воздействовать на структуру доломита, то его целостность нарушится с образованием новых коллекторов для истечения газа. Это возможно при определенном сочетании параметров нагнетания и напряженно-деформированного состояния пласта. При этом разгрузка и дегазация этой части пласта, перемещение зоны максимума опорного давления вглубь массива и устранение выбороопасности обработанного гидрорыхлением участка доломита происходит на расстоянии от забоя выработки, образуя систему трещин под действием воды. Это должно уменьшить газовыделение из шпуров. Однако данное условие имеет ряд ограничений, одним из которых является то, что гидрорыхление доломита может происходить лишь на ограниченном участке пласта впереди забоя выработки между зонами разгрузки и опорного давления, где напряжения не более чем в «нетронутом» массиве (γ_H) и не превышают предельно допустимое давление воды, создаваемое насосной установкой. При средней плотности вмещающих пород 2,5 т/м³ и глубине выработки 1350 м от поверхности напряжения в массиве достигают значения 33,75 МПа. Зона опорного давления характеризуется минимальной водопроницаемостью и проницаемостью пласта, что затрудняет поступление воды в область повышенных напряжений в глубине массива.

В процессе гидрорыхления при давлении до 32 МПа в призабойную часть подготовительной выработки на глубину 4,0 м, нагнетаемая в пласт вода, вначале движется по существующим трещинам и крупным порам, вытесняя свободный газ в выработку. Затем, под действием капиллярных сил, постепенно проникает в переходные поры и микропоры, блокируя и тормозя процесс перехода сорбированного метана в газообразный. В результате этого НСГ занижена, и оценка степени воздействия гидрорыхления на призабойную часть выработки будет искажена.

При проведении исследований возможен рост этих трех параметров, который объясняется тем, что гидрорыхление будет приводить к декольматации существующих трещин, повышению коллекторских свойств и активизации газовыделения с большего объема призабойной части массива. Полученный результат будет зависеть от глубины, давления нагнетания, длительности гидрорыхления и количества воды, закачанной в

массив.

В транспортном штреке (север) гор. –950 м выбраны участки, на которых замеряли НСГ до применения гидрорыхления и на участке, где оно выполнялось. При этом оба участка, по степени выбросоопасности, можно считать идентичными. До гидрорыхления выбросы породы и газа на участке фиксировались: 03.12.24, 28.12.24, 30.01.25.

После гидрорыхления в период с 24.12.25 по 29.01.26 ВПГ на участке не происходили, однако при взрывной отбойке были зарегистрированы опережающие полости в выбросоопасном слое № 24, прогноз «Опасно» по НСГ и повышенная концентрация газа при взрывных работах, а 12.02.26 произошел ВПГ.

До применения гидрорыхления на участке проведения выработки с 29.09.24 по 24.12.25 выполнено 720 замеров НСГ. На участке, где в период с 24.12.25 по 29.01.26 проводили гидрорыхление, выполнено 180 замеров НСГ по выбросоопасному слою № 25.

Результаты измерений НСГ представлены в табл. 2.

Графическое изображение средних значений НСГ по трем шпурам (левый, центральный, правый) представлено на рис. 2– 4. На рис. 5 представлено обобщенное среднее значения газовыделения из шпуров на участках применения гидрорыхления и вне него.

Таблица 2

Результаты измерений НСГ из шпуров

Место расположения шпура в выработке	Среднее газовыделение из шпуров, л/мин на интервалах измерения, м							
	до гидрорыхления				после гидрорыхления			
	1,5	2,5	3,5	4,5	1,5	2,5	3,5	4,5
1 левый	0,43	0,66	1,28	1,80	0,29	0,56	1,28	1,07
2 центральный	0,13	0,41	0,80	0,97	0,63	0,76	0,55	0,59
3 правый	0,38	0,55	0,93	1,34	0,76	0,91	2,40	2,20
среднее газовыделение из трех шпуров	0,31	0,54	1,00	1,37	0,56	0,74	1,41	1,29

Анализ рис. 2–4 показывает, что на участке без гидрорыхления газовыделение из трех шпуров, характерное для горизонта –950 м, равномерно увеличивается до глубины 4,5 м.

Анализ средних значений НСГ после гидрорыхления выбросоопасных доломитовых пластов № 24 и № 25 показывает, что оно по-разному воздействовало на призабойную часть массива.

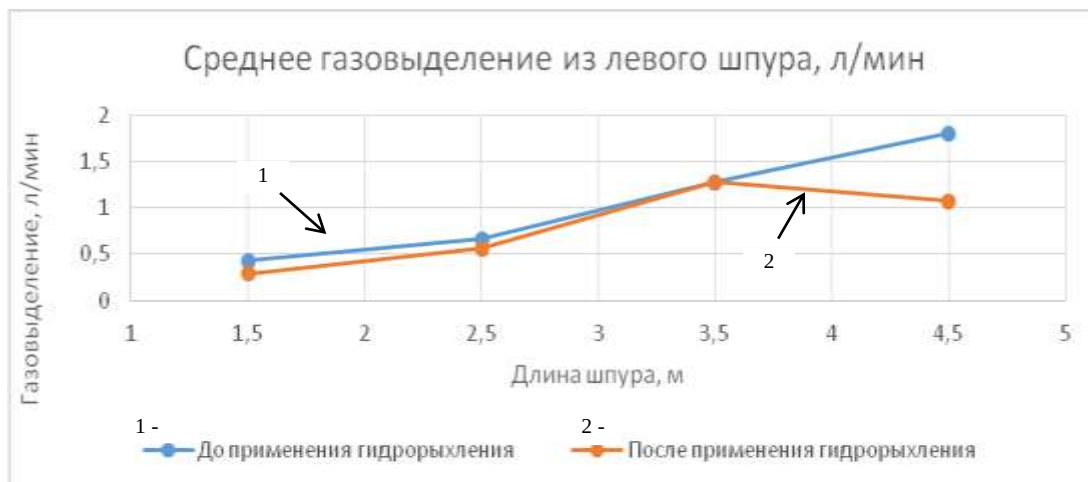


Рис. 2. Средние значения газовыделения из левого шпура на участке гидрорыхления и вне него

Анализ графиков, представленных на рис. 2, показал, что гидрорыхление снизило газовыделение из левого шпура на глубине 4,5 м с 1,8 л/мин до 1,07 л/мин или на 40%.



Рис. 3. Средние значения газовыделения из центрального шпура на участке гидрорыхления и вне него

В центральном шпуре гидрорыхление кардинально изменило характер газовыделения. Оно стало равномерным на измеряемых интервалах от 1,5 до 4,5 м и, в среднем составило 0,63 л/мин (рис. 3).

В правом шпуре гидрорыхление привело к увеличению газовыделения на всех интервалах измерения: на глубине 1,5 м – в 2 раза, 2,5 м – в 1,6 раза, 3,5 м – в 2,6 раза, 4,5 м – в 1,6 раза.



Рис. 4. Средние значения газовыделения из правого шпура на участке гидрорыхления и вне него

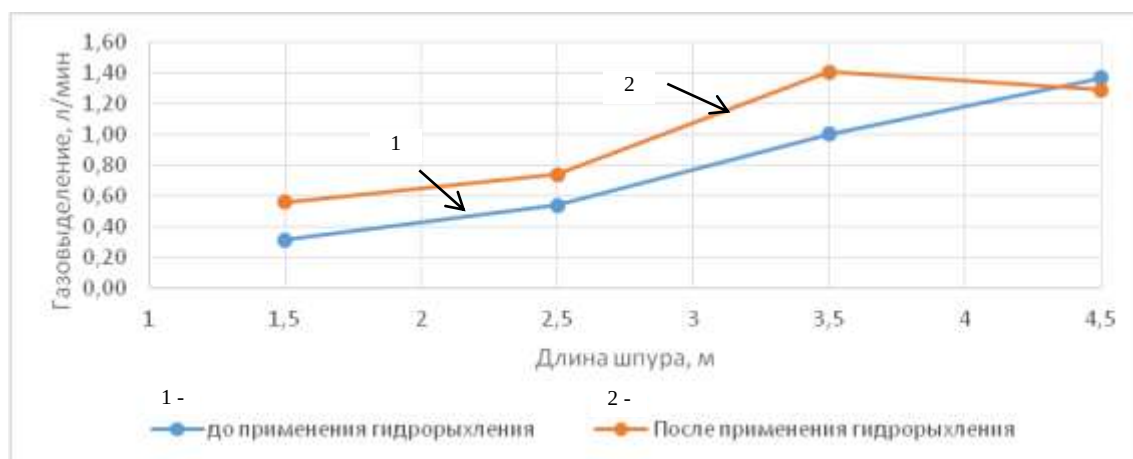


Рис. 5. Обобщенные данные средних значений газовыделения из шпуров на участке гидрорыхления и вне него

Обобщенные данные средних значений газовыделения из трех шпуров на участках гидрорыхления и вне него показывают, что гидрорыхление привело к увеличению газоотдачи массива (рис. 5).

Таким образом, если изначально ожидалось, что гидрорыхление уменьшит газовыделение в призабойной части выработки, то фактически оно привело к активизации газовыделения не только из призабойной части массива, но и, возможно, с большей глубины за счет промывки существующих трещин, которые впоследствии стали играть роль каналов для транспортировки газа в выработку.

Анализ газовыделения в атмосферу подготовительной выработки в результате использования режима КВЗ показал, что на участке гидрорыхления массива отмечалось незначительное увеличение концентрации газа. На рис. 6, 7 представлены результаты измерения

газовыделения в режиме КВЗ как на участке, где применялось гидрорыхление, так и вне него.

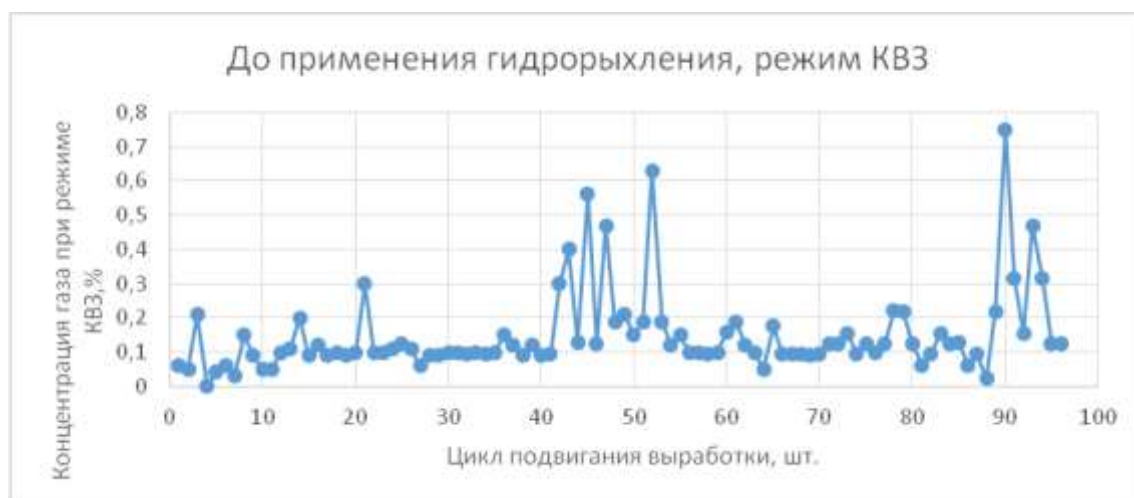


Рис. 6. Газовыделение в режиме КВЗ на участке транспортного штрека (север) без гидрорыхления

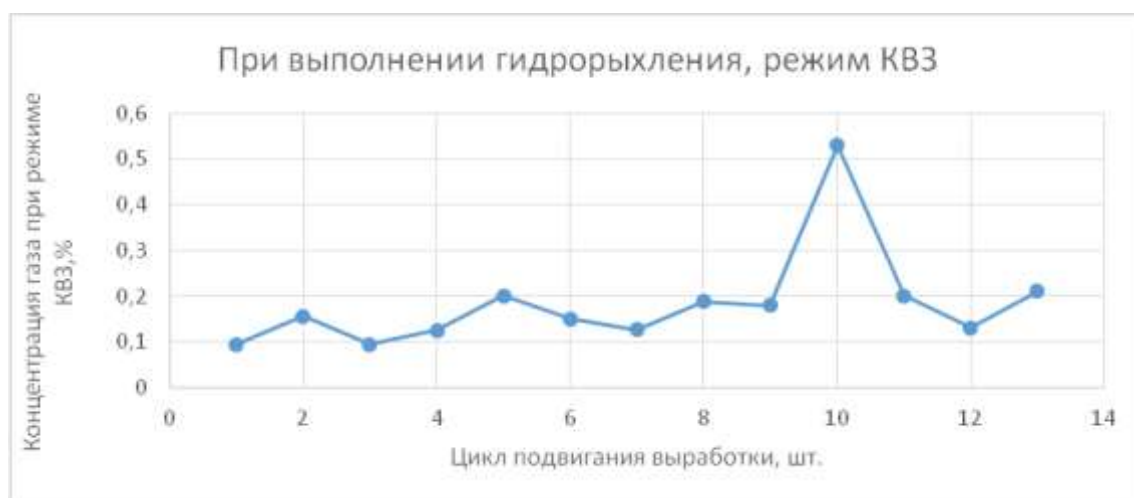


Рис. 7. Газовыделение в режиме КВЗ на участке транспортного штрека (север) с гидрорыхлением

Среднее значение газовыделения в режиме КВЗ на участке без гидрорыхления составило 0,14 %, а на участке с гидрорыхлением – 0,18%, увеличение составило 22,2%.

Проведение транспортного штрека (север) гор. –950 м осуществляли БВР. После каждого цикла взрывных работ регистрировали максимальную концентрацию газовыделения: рис. 8 и 9.



Рис. 8. Максимальная концентрация метана при БВР на участке транспортного штрека (север) без гидрорыхления



Рис. 9. Максимальная концентрация метана при БВР на участке транспортного штрека (север) с гидрорыхлением

Анализ максимальной концентрации метана при БВР на двух участках, которые можно считать идентичными по степени выбросоопасности, т.к. на них происходили ВПГ и отмечались их предупредительные признаки, показывает, что гидрорыхление привело к увеличению концентрации метана при БВР. При этом средняя максимальная концентрация метана на участке с гидрорыхлением увеличилась в 2,1 раза по сравнению с неопасным участком.

ВЫВОДЫ

Гидрорыхление с параметрами, используемыми для предотвращения выбросов угля и газа, не нарушает структуру крепких выбросоопасных доломитовых пород вследствие недостаточности создаваемого насосной установкой давления, поэтому изменение напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта и его разгрузка не происходят.

Оценка влияния гидрорыхления на изменение газодинамического состояния призабойной части выработки, основанная на сравнении изменения НСГ из шпуров, оценке газовыделения в режиме КВЗ, максимальной концентрации газовыделения при БВР, показала, что гидрорыхление способствует только кратковременному увеличению газовыделения из призабойной части выработки, предположительно за счет промывки трещиноватого массива пород и активизации газоотдачи из глубины массива.

Фактическое количество воды, поданной в скважину к моменту завершения гидрорыхления, т.е., снижению давления нагнетания не менее чем на 30%, как правило, не соответствует расчетному, что приводит либо к излишнему водонасыщению пласта и обводнению призабойного пространства выработки, либо к недостаточной подаче воды, необходимой для достижения должного эффекта гидрорыхления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Приказ №515 от 10.12.2020. – 114 с.
2. Данные о выбросоопасности песчаников в Донбассе, как основа для создания информационно-аналитической программы регистрации выбросов породы и газа / Р.М. Богоудинов, М.Ф. Рыжков, А.А. Черниговцева, А.Д. Бондаренко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МакНИИ. – 2024. – С. 164 - 171.
3. Отчет о НИР «Разработка способа прогноза выбросоопасности пород глубоких горизонтов». Фонд МАКНИИ. – 1969. – 280 с.
4. Забигаило В.Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / В.Е. Забигаило, В.И. Николин. – Киев: Наукова думка, 1990. – 168 с.
5. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа / В.В. Ходот. – Москва: Госгортехиздат, 1961. – 363с.
6. Никифоров. А.В. О совместимости гидрорыхления пласта для

предотвращения внезапных выбросов и нагнетания воды для пылеподавления / А.В. Никифоров, М.Ф. Рыжков, А.Д. Бондаренко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. / МакНИИ. – 2023. – № 2 (61). – С. 14-20.

7. Руководство по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах». Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Приказ № 441 от 07.12.2023. – 157 с.

Получено: 17.04.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDK 622.831

**V.G. ZOLOTIN, Ph. D. Eng., head of laboratory,
A.V. NIKIFOROV, Ph. D. Eng., senior research worker,
A.I. KARPENKO, senior engineer; Yakutniproalmaz, Institute of ALROSA
(PJSC), Mirny**

**ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING HIGH-PRESSURE
LIQUID INJECTION IN THE HYDRAULIC LOOSENING MODE TO
CONTROL ROCK AND GAS EMISSIONS IN THE CONDITIONS OF
THE INTERNATSIONALNY MINE OF ALROSA (PJSC)**

The analysis of the application of an anti-blowout measure based on high-pressure injection of liquid in the hydraulic loosening mode to control rock and gas emissions has been performed. To assess the effect of the hydraulic loosening process on the change in the gas-dynamic state of the massif in the bottom-hole part of the preparatory work, an analysis of the change in gas emission was performed according to various indicators.

Keywords: rock and gas release, anti-blowout measures, hydraulic loosening, preparatory production, gas release.

УДК 628.313

А.В. ВОЛОДИН, зав. лаб.,
В.Ю. ДЕРЕВЯНСКИЙ, ст. науч. сотр.,
А.Л. СКЛЯРОВ, ст. науч. сотр.,
С.А. ГРЕЧКА, мл. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

ОБ ИНСТРУКЦИИ ПО ОТБОРУ ПРОБ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ

Разработана «Инструкция по отбору проб воды из поверхностных водоемов», которая будет использована для оценки влияния сбрасываемых шахтных вод на химический состав вод поверхностных водоемов.

Ключевые слова: инструкция, требования, вода, отбор проб, поверхностный водоем, химический анализ, пробоотборник, емкость, фильтр, акт, ответственность.

В настоящее время проблемы водопользования приобретают все большую актуальность в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов, особенно в Донбассе. Загрязнение поверхностных вод может привести к нарушению здоровья населения, к ухудшению условий водопользования. Для определения влияния сбрасываемых вод, например, шахтных, на качественный состав вод поверхностных водоемов, необходимо проводить их химический анализ проб воды. Для отбора проб воды согласно п. 4.7 [1] необходимо разработать «Инструкцию по отбору проб воды из поверхностных водоемов» (Инструкция).

Цель работы – разработка «Инструкции по отбору проб воды из поверхностных водоемов».

При разработке Инструкции использованы требования стандартов [1,2]. Структура Инструкции включает 8 разделов: «Общие положения», «Нормативные ссылки», «Требования к работникам, осуществляющим отбор проб», «Оборудование для отбора и хранения проб», «Подготовка к отбору проб», «Отбор проб», «Меры безопасности», «Ответственность», а также приложение «Форма акта отбора проб».

В разделе «Общие положения» содержатся требования, регламентирующие подготовку, отбор и документальное оформление проб воды для последующего химического анализа. Изложенные в ней требования являются обязательными для работников, осуществляющих отбор проб воды.

В разделе «Нормативные ссылки» приведен перечень нормативных

правовых актов, стандартов и методических документов, использованных в Инструкции: Водный кодекс Российской Федерации [3], Федеральный закон Российской Федерации «Об охране окружающей среды» [4], ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб» [1].

В разделе «Требования к работникам, осуществляющим отбор проб» регламентируется, что к отбору проб воды допускаются лица, прошедшие обучение, не имеющие медицинских противопоказаний к выполнению данной работы и умеющие оказывать первую доврачебную помощь пострадавшим.

В четвертом разделе «Оборудование для отбора и хранения проб» содержатся следующие требования:

- отбор проб производить ручными пробоотборниками, соответствующими требованиям [1] и [2];
- минимизировать время контакта пробы и пробоотборника;
- осуществлять отбор проб с помощью емкости с подвешенным грузом или прикрепленной к держателю достаточной длины;
- использовать бутылки, ковши, черпаки, ведра, бидоны, канистры, батометры, другие емкости и пробоотборники, удовлетворяющие исследованиям;
- использовать емкости, изготовленные из инертных материалов.

Для перемешивания проб необходимо использовать специальные устройства или стержни из инертного материала, например, фторопласта.

Для каждой пробы используется отдельный набор инвентаря: промежуточная емкость для перелива – при необходимости, емкость для транспортирования и хранения.

Периодичность и объем технического обслуживания пробоотборников выполняются согласно требованиям эксплуатационной документации.

Емкости для отбора и хранения проб должны обеспечивать:

- неизменность состава и свойств воды от момента ее отбора до анализа, предохранение состава пробы от потерь определяемых показателей и от загрязнения другими веществами;
- герметичность;
- прочность;
- устойчивость к экстремальным температурам и разрушению;
- способность легко и плотно закрываться;
- необходимые размеры, форму, массу;
- возможность проведения очистки и обработки стенок, устранения поверхностного загрязнения.

Для отбора и хранения проб воды применяются как одноразовые емкости, так и емкости, допускающие многократное использование.

Объем емкости для хранения должен соответствовать объему воды, необходимой для определения всех требуемых показателей.

В пятом разделе регламентируется подготовка к отбору проб воды в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59024-2020 и стандартов на методы определения показателей.

При подготовке к отбору проб пробоотборников и емкостей следует соблюдать осторожность, чтобы не допустить их загрязнения.

Тип моющего вещества выбирают в зависимости от определяемых показателей и материалов пробоотборника и емкости.

Новую стеклянную посуду ополаскивают раствором моющего средства для удаления пыли и следов упаковочного материала с последующей промывкой дистиллированной водой.

При определении фосфатов, кремния, бора и поверхностно-активных веществ для промывки емкостей не допускается использовать растворы моющих средств.

Ранее использованные стеклянные емкости моют хромовой смесью, тщательно ополаскивают водопроводной водой, а затем дистиллированной водой. Не допускается применять хромовую смесь для емкостей, используемых для отбора проб, предназначенных для определения хрома и сульфатов. Пластмассовые емкости ополаскивают разбавленной соляной кислотой, тщательно промывают водопроводной водой, ополаскивают дистиллированной водой.

Для многократного применения предпочтительны емкости из стекла.

В шестом разделе содержатся требования к отбору проб воды.

Отбор проб воды осуществляют исходя из конкретных условий места отбора.

Разовый отбор проб должен проводиться в месте сброса шахтной воды в водоем, а также справа и слева от этого места.

Отбор пробы шахтной воды, сбрасываемой в водоем, должен быть максимально приближен к месту сброса.

При невозможности отбора проб воды в запланированных местах в связи с недоступностью, обнаружением признаков опасности для жизни и здоровья работников или по иной причине, отбор осуществляется из ближайшего безопасного места.

Отбор пробы может проводиться погружением емкости в воду, а также с помощью насоса с заполнением водой емкости, находящейся на берегу, с последующим переливом пробы в емкость, удовлетворяющую требованиям транспортировки и хранения.

Объем взятой воды должен соответствовать необходимому количеству измеряемых показателей с учетом возможности проведения повтор-

ного исследования. Для этого минимальный объем одной пробы воды должен составлять не менее 4 литров.

Для получения одной пробы, отражающей состав и свойства воды в данном месте отбора, допускается неоднократно отбирать воду за максимально короткий период.

Отбор проб воды для химического анализа предусматривает соблюдение следующих правил:

- перед отбором пробы емкость следует не менее двух раз ополоснуть отбираемой водой и заполнить ею емкость;

- при отборе проб, подлежащих хранению и транспортированию, перед закрыванием емкости пробкой верхний слой воды сливают так, чтобы под пробкой оставался слой воздуха и при транспортировании пробка не смачивалась.

Отбор проб воды оформляется актом, форма которого приведена в приложении к Инструкции. Записи в акте должны быть четкими, сделаны надежным способом, позволяющим провести идентификацию пробы в лаборатории без затруднений.

Нумерация актов осуществляется сотрудниками, отбирающими пробы, и имеет сквозную нумерацию арабскими цифрами. Акты хранятся в папке «Акты отбора проб воды».

После отбора каждой пробы на емкость наносят номер акта так, чтобы пробу было легко идентифицировать. Маркировка должна быть четкой, сохраняться в течение всего времени хранения пробы и может наноситься непосредственно на емкость или к емкости крепят этикетку с номером акта.

В случае отклонения от предусмотренной Инструкцией процедуры отбора пробы, данные должны быть отражены в графе «Примечания» акта отбора проб.

Отбор проб воды с берега осуществляется группой работников в составе не менее двух человек.

Один из группы работников назначается старшим за проведение работ, о чем делается соответствующая отметка в актах отбора проб.

В состав группы, отбирающей пробы воды с плавсредства, должны входить не менее трех человек.

При отборе проб воды может производиться фото– и видеофиксация процесса.

Взвешенные частицы веществ, осадок, водоросли удаляют фильтрованием в максимально короткие сроки после отбора.

Фильтрование применяют для разделения растворенных и нерастворенных форм определяемых показателей в соответствии с измерениями.

Если фильтр задерживает одно или более веществ, подлежащих определению в фильтрате, фильтрование не применяют.

При отборе проб воды должны приниматься следующие меры, исключающие их загрязнения:

- тщательно мыть руки или использовать одноразовые перчатки;
- не пить и не принимать пищу при отборе проб;
- использовать для отбора только чистые емкости;
- избегать наружного загрязнения емкости с пробами;
- снимать крышку с емкости для отбора пробы непосредственно перед отбором;
- после отбора проб убедиться, что емкости плотно закрыты крышками.

Если на месте отбора выполнялись анализы, их результаты вносят в акт отбора пробы.

В седьмом разделе изложены меры безопасности при выполнении работ по отбору проб воды из поверхностных водоемов.

В восьмом разделе указывается, что, в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации, ответственность за соблюдение требований Инструкции несет работник, осуществляющий отбор проб воды.

ВЫВОДЫ

Использование разработанной «Инструкции по отбору проб воды из поверхностных водоемов» позволит повысить безопасность сотрудников, проводящих работы по отбору проб воды, и обеспечит качественный отбор проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 сентября 2020 г. № 640-ст : дата введения 2022-06-01. – Москва, 2020. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=470433> (дата обращения 29.04.2026). – Текст : электронный.

2. ГОСТ 17.1.5.04-81. Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 декабря

1981. № 5788 : дата введения 1984-01-01. – Москва, 1981. – URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/bc9/4294835624.pdf> (дата обращения 29.04.2026). – Текст : электронный.

3. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон № 74-ФЗ: [принят Государственной Думой 12 апр. 2006 г.: одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 г.].

4. Российская Федерация. Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7-ФЗ: [принят Государственной Думой 20 дек. 2001 г.: одобрен Советом Федерации 26 дек. 2001 г.].

Получено: 01.06.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 628.313

A. V. VOLODIN, head of laboratory,

V. Yu. DEREVYANSKIY, senior research worker,

A. L. SKLYAROV, senior research worker,

S. A. GRECHKA, junior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka

INSTRUCTION OF WATER SAMPLING FROM SURFACE WATER SOURCES

An instruction has been developed of water sampling from surface water sources which will be applied for assessment of impact of mine waste water on chemical composition of surface water sources.

Keywords: instruction, requirements, water, sampling, surface water source, chemical analysis, sampler, container, filter, certificate, liability.

УДК 622.8:628.313

В.Ю. ДЕРЕВЯНСКИЙ, ст. науч. сотр.,

А.В. ВОЛОДИН, зав. лаб.,

А.Л. СКЛЯРОВ, ст. науч. сотр.,

С.А. ГРЕЧКА, мл. науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О ТРЕБОВАНИЯХ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ОТБОРЕ ПРОБ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ

Определены факторы, приводящие к травмированию и заболеванию работников при отборе проб воды из поверхностных водоемов. Разработаны требования охраны труда.

Ключевые слова: анализ, инструкция, требования, охрана труда, несчастный случай, заболевание, вода, отбор проб, поверхностный водоем.

В поверхностные водоемы осуществляется сброс шахтных вод, оказывающие негативное влияние на качественный состав воды. В настоящее время в ГБУ «МАКНИИ» проводится научно-исследовательская работа «Анализ источников шахтных вод ДНР и разработка предложений по их рациональному использованию». Для выполнения работы необходимо осуществлять отбор проб воды из поверхностных водоемов для проведения химического анализа.

При отборе проб воды из поверхностных водоемов могут произойти несчастные случаи или заболевания людей. В связи с этим разработка требований охраны труда (ОТ) при отборе проб воды является актуальной.

Цель работы – разработать требования охраны труда, предотвращающие травматизм и заболеваемость работников, осуществляющих отбор проб воды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить факторы, воздействие которых на работников при отборе проб воды из поверхностных водоемов может привести к их травмированию или заболеванию;

- разработать требования ОТ.

Травмирование работников, осуществляющих отбор проб воды, может произойти вследствие воздействия опасных и вредных факторов, приведенных на рисунке.

С учетом положений, изложенных в [1,2], разработаны требования ОТ, направленные на предотвращение травматизма и заболеваемости работников, осуществляющих отбор проб.

К работам для отбора проб воды допускаются работники, назначенные приказом по институту, достигшие 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие в установленном порядке целевой инструктаж по ОТ и обеспеченные средствами индивидуальной защиты.



Рисунок – Факторы, действующие на работника, отбирающего пробы воды

При передвижении к местам отбора проб воды и обратно, а также непосредственно при отборе проб необходимо быть внимательными и соблюдать меры личной безопасности, запрещается употреблять спиртные напитки, наркотические и токсические вещества, а также находиться на месте производства работ в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения, курить в неустановленных местах.

Для отбора проб направляется группа работников, в составе не менее двух человек, один из которых является руководителем и ответственным за заполнение акта отбора проб.

Перед началом работы по отбору проб необходимо застегнуть специальную одежду на все пуговицы, а также не оставлять свисающих частей. Не закалывать одежду булавками, иголками. Не иметь в карманах одежды острые и бьющиеся предметы. Волосы должны быть убраны под плотно облегающий головной убор. Не разрешается работать в легкой обуви. Получить необходимый для проведения работ инструмент, инвентарь, средства защиты и убедиться в их исправности.

Группа должна иметь средства защиты от нападения животных и укусов насекомых и аптечку для оказания доврачебной помощи.

К отбору проб приступать, убедившись в отсутствии внешних опасностей и в возможности безопасного выполнения конкретных работ, осмотрев подходы и место производства работ.

Работы по отбору проб воды запрещается проводить ближе 20 м от воздушных линий электропередач.

Перед отбором проб, на месте производства работ необходимо подготовить средства, инструменты и инвентарь. Обо всех выявленных опасностях, а также неполадках средств, инструмента и инвентаря сообщить руководителю работ и приступить к отбору проб только после устранения опасностей и неисправностей.

При выполнении работ по отбору проб воды должны соблюдаться следующие требования ОТ:

- выполнять только ту работу, по которой работник проинструктирован по ОТ и допущен руководителем работ;
- запрещается передвигаться и осуществлять отбор проб воды в местах, представляющих опасность для жизни и здоровья, в непогоду, а также в темное время суток;
- при обнаружении угрозы жизни и здоровью людей во время отбора проб воды, работы должны быть прекращены и приняты меры, обеспечивающие их безопасное продолжение. При невозможности обеспечить безопасность работ необходимо покинуть опасную зону;
- в случае возникновения неблагоприятных метеорологических условий выполнение работ по отбору проб воды необходимо прекратить;
- использовать необходимые для безопасной работы только исправные средства индивидуальной защиты, инвентарь и инструменты;
- при возникновении в процессе работы неисправностей применяемых средств, инвентаря, инструмента отбор проб следует приостановить и сообщить об этом руководителю работ. Возобновление работ разрешается

после устранения неисправностей;

- перед отбором проб воды с мостов и других сооружений следует убедиться в их безопасном состоянии и принять меры для исключения падения. При необходимости использовать предохранительные страховочные пояса;

- при отборе проб воды с высоты необходимо пользоваться соответствующим инвентарем.

О невозможности отбора проб воды, вследствие существования опасности для жизни и здоровья работников, руководитель работ делает соответствующую отметку в графе «Примечания» акта отбора проб.

При отборе проб запрещается:

- приближаться к местам обнаружения взрывоопасных предметов;
- передвигаться и выполнять работы вблизи провалов земной поверхности, неисправных ограждений и перекрытий, а также не огражденных устьев, выходящих на земную поверхность горных выработок, и стихийных свалок вокруг таких выработок;
- передвигаться и выполнять работы в непосредственной близости от поврежденных кабельных линий, воздушных линий электропередач;
- пить и принимать пищу.

При выполнении работ необходимо следить за своим самочувствием и самочувствием других исполнителей.

При возникновении несчастного случая прекратить работу, поставить в известность руководителя работ, вызвать скорую медицинскую помощь или обратиться в медицинское учреждение. До прибытия врача оказать пострадавшему первую доврачебную помощь.

По окончании работы необходимо обо всех выявленных в процессе отбора проб воды недостатках, неисправностях и нарушениях сообщить руководителю работ.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку технических средств для отбора проб воды из поверхностных водоемов без присутствия человека.

ВЫВОДЫ

Определены факторы, воздействие которых на работников в процессе отбора проб воды из поверхностных водоемов может привести к травмированию или заболеванию. Соблюдение разработанных требований охраны труда позволит предотвратить несчастные случаи, травматизм и заболеваемость работников, осуществляющих отбор проб воды из поверхностных водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные требования к порядку разработки и содержанию правил и инструкций по охране труда, разрабатываемых работодателем : издание официальное : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 29.10.2021 № 772н, зарегистрированы в Минюсте России 26.11.2021 № 66015 // <https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/2183?ysclid=lvapb3fw2a880785307> (дата обращения 29.04.2026). – Текст : электронный.

2. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 сентября 2020 г. № 640-ст : дата введения 2022-06-01. – Москва, 2020. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=470433> (дата обращения 29.04.2026). – Текст : электронный.

Получено: 07.05.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 622.8:628.313

V. Yu. DEREVYANSKY, *senior research worker,*

A. V. VOLODIN, *head of laboratory,*

A. L. SKLYAROV, *senior research worker,*

S. A. GRECHKA, *junior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka*

LABOUR PROTECTION REQUIREMENTS DURING WATER SAMPLING FROM SURFACE WATER SOURCES

In this research paper factors have been detected which lead to injuries and diseases of workers performing water sampling from surface water sources. The necessary labour protection requirements have been developed.

Keywords: analysis, regulation, requirements, labour protection, accident, disease, water, sampling, surface water source.

УДК 628.313

А.Л. СКЛЯРОВ, *ст. науч. сотр.*,
А.В. ВОЛОДИН, *зав. лаб.*,
В.Ю. ДЕРЕВЯНСКИЙ, *ст. науч. сотр.*,
С.А. ГРЕЧКА, *мл. науч. сотр.*; **ГБУ «МАКНИИ»**, г. Макеевка

О ПРОГРАММЕ ОТБОРА ПРОБ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ

Разработана «Программа отбора проб воды из поверхностных водоемов» для оценки влияния сбрасываемых шахтных вод на химический состав воды поверхностных водоемов.

Ключевые слова: программа, требования, вода, отбор проб, поверхностный водоем, транспортирование, химический анализ, показатель, лаборатория.

В настоящее время в Донбассе в результате работы водоотлива шахт происходит загрязнение поверхностных водоемов, приводящее к нарушению экологической обстановки региона. Для оценки влияния шахтных вод на химический состав вод поверхностных водоемов осуществляют отбор проб для проведения анализа. Поэтому, согласно п. 4.2 [1] необходимо разработать программу, в соответствии с которой должен производиться отбор проб.

Цель работы – разработать «Программу отбора проб воды из поверхностных водоемов» (Программа).

При разработке Программы использованы требования стандартов [1,2]. Программа содержит 8 разделов: «Общие положения», «Нормативные ссылки», «Места отбора проб», «Транспортирование проб», «Прием проб в химической лаборатории», «Хранение проб», «Перечень показателей для химического анализа проб воды», «Ответственность», а также два приложения: «Места отбора проб», «Форма журнала приема проб в химической лаборатории».

Первый раздел Программы регламентирует требования к местам отбора проб воды, транспортированию проб, документальному оформлению приема в химической лаборатории, хранению, а также перечню показателей для химического анализа. Изложенные в Программе требования являются обязательными для работников, осуществляющих отбор проб воды.

В «Нормативных ссылках» приведен перечень нормативных правовых актов, стандартов и методических документов, которые использованы

в Инструкции: Водный кодекс Российской Федерации [3], Федеральный закон Российской Федерации «Об охране окружающей среды» [4], ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб» [1].

В разделе «Места отбора проб» содержится ссылка на приложение А, в котором в виде схем приведены места отбора проб воды.

После отбора пробы заполняется акт отбора пробы и его номер указывается на емкости.

Четвертый раздел «Транспортирование проб» содержит требования к транспортированию отобранных проб воды.

Доставка проб в химическую лабораторию осуществляется любым видом транспорта.

При необходимости, для транспортирования проб используют различные виды упаковки: контейнеры, корзины, ящики, футляры, пакеты и т.п., препятствующие загрязнению и повреждению емкостей с пробами и самопроизвольному открыванию пробок или крышек емкостей.

При транспортировании отобранных проб воды в химическую лабораторию принимаются меры для их защиты от внешнего воздействия, предотвращающие дополнительное нагревание, переохлаждение или замораживание.

В пятом разделе изложен «Прием отобранных проб воды в химической лаборатории».

Пробы, поступающие в химическую лабораторию для анализа, регистрируются в «Журнале приема проб». Его форма приведена в приложении Б к разработанной Программе.

Допускается использовать компьютерные системы регистрации и хранения информации, в том числе, разработанные лабораторией на основе офисных программ.

При заполнении «Журнала приема проб» допускается использовать сокращения.

Пробы, не имеющие номера акта отбора, лабораторией не принимаются.

В шестом разделе изложены требования к хранению проб.

Если к выполнению анализа не приступают сразу после доставки и регистрации проб, их хранят в условиях, исключающих любое изменение их состава. При нарушении условий хранения проб воды их анализ не проводится.

Способы консервации и условия хранения проб воды должны соответствовать требованиям [1].

В седьмом разделе приведен перечень показателей, определяемых в процессе химического анализа воды. Этот перечень приведен на рисунке.

Ответственность работников, осуществляющих отбор проб воды за

соблюдение требований Программы, в соответствии с действующим законодательством, указана в восьмом разделе.

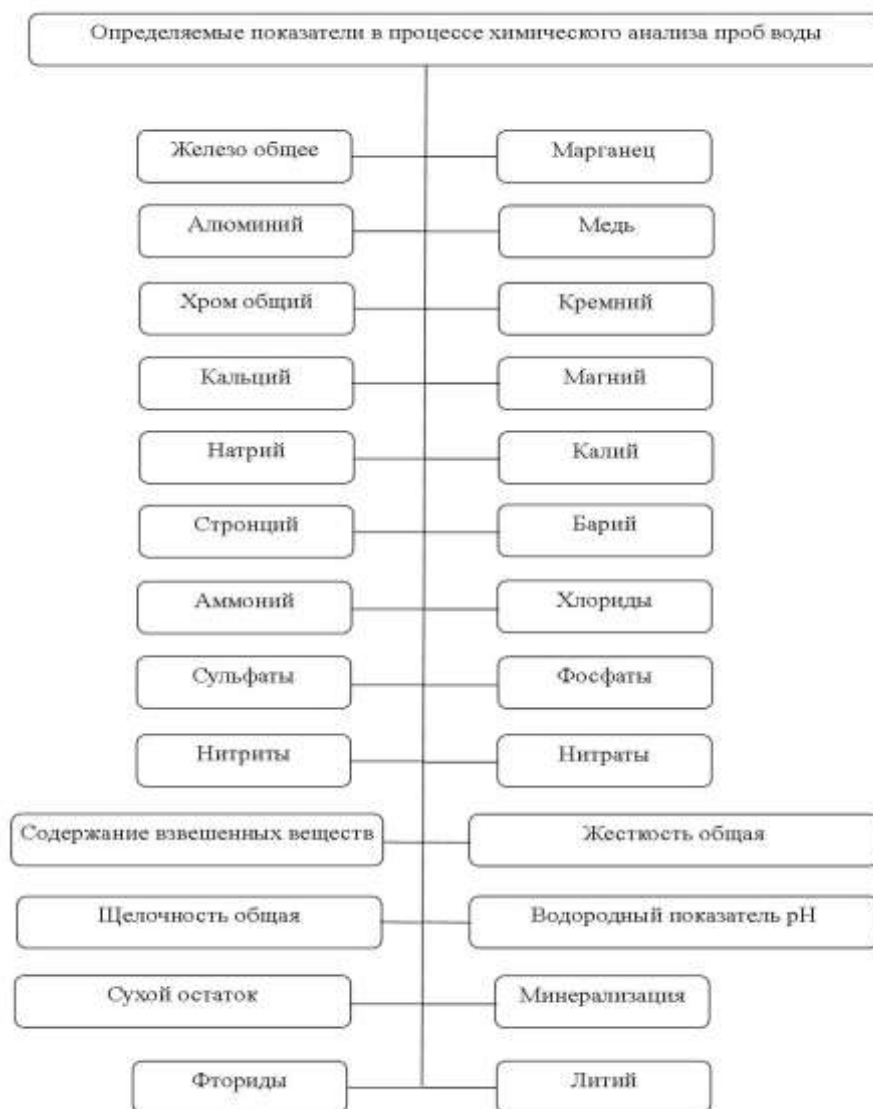


Рисунок – Показатели, определяемые химическим анализом воды

ВЫВОДЫ

Разработана «Программа по отбору проб воды из поверхностных водоемов», включающая разделы: «Общие положения», «Нормативные ссылки», «Места отбора проб», «Транспортирование проб», «Прием проб в химической лаборатории», «Хранение проб», «Перечень показателей для химического анализа проб воды», «Ответственность», а также два приложения: «Места отбора проб», «Форма журнала приема проб в химической лаборатории». Соблюдение требований Программы обеспечит проведение химического анализа и достоверную оценку влияния сбрасываемых шахт-

ных вод на химический состав поверхностных водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 сентября 2020 г. № 640-ст : дата введения 2022-06-01. – Москва, 2020. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=470433> (дата обращения 29.04.2026). – Текст : электронный.
2. ГОСТ 17.1.5.04-81. Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 декабря 1981. № 5788: дата введения 1984-01-01. – Москва, 1981. – URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/bc9/4294835624.pdf> (дата обращения 29.04.2026). – Текст : электронный.
3. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон № 74-ФЗ: [принят Государственной Думой 12 апр. 2006 г.: одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 г.].
4. Российская Федерация. Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7-ФЗ: [принят Государственной Думой 20 дек. 2001 г.: одобрен Советом Федерации 26 дек. 2001 г.].

Получено: 07.05.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Кременев О.Г.

UDC 628.313

**A. L. SKLYAROV, senior research worker,
A. V. VOLODIN, head of laboratory,
V. Yu. DEREVYANSKIY, senior research worker,
S. A. GRECHKA, junior research worker; GBU MAKNI, Makeyevka**

A PROGRAM OF WATER SAMPLING FROM SURFACE WATER SOURCES

The 'Program for Water Sampling from Surface Water Sources' has been developed for the purpose of assessment of impact of mine waste water on chem-

ical composition of water of surface water sources.

Keywords: program, requirements, water, sampling, surface water source, shipment, chemical analysis, parameter, laboratory.

УДК 622.812

Г.Б. ТЫНДА, зав. отд.,

Р.В. БЕРЕГОВОЙ, науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

УТОЧНЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УТЕЧЕК ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ВЫРАБОТАННОЕ ПРОСТРАНСТВО ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ОТ КРЕПОСТИ ПОРОД КРОВЛИ

Анализ зависимости утечек воздуха через выработанное пространство выявил допущение, искажающее общий характер изменения утечек при увеличении крепости пород кровли и негативно сказывающееся на конечном результате. Уточнен механизм влияния физических свойств обрушенных пород кровли на их газовую проницаемость, и предложена формула для определения коэффициента утечек воздуха через выработанное пространство.

Ключевые слова: угольная шахта, выработанное пространство, обрушенная масса, коэффициент утечек воздуха, крепость пород кровли.

Выработанное пространство (ВП) угольных шахт является коллектором метана, провоцирующим возникновение аварий, связанных с его воспламенением, поэтому научные исследования основных характеристик ВП в настоящее время актуальны. Одной из характеристик, влияющих на коллекторную способность ВП, является его газовая проницаемость, определяющая величину утечек воздуха, возникающих при проветривании очистного забоя за счет общешахтной депрессии. В свою очередь, утечки воздуха через ВП и поток метана, поступающего из вмещающих пород, совместно формируют концентрационное поле метана в пустотах ВП.

Известно, что на величину утечек воздуха через ВП влияет ряд технологических и горно-геологических показателей, к которым относятся площадь поперечного сечения очистной выработки, вынимаемая мощность пласта и крепость пород [1-4]. В нормативной литературе утечки воздуха через ВП принято определять с помощью коэффициента $k_{утв}$, являющегося функцией перечисленных показателей [5]. При использовании схем проветривания типа 1,2,3-В и 2-М коэффициент $k_{утв}$ определяется по формуле из [5]:

$$k_{утв} = 1 + 0,5m_{в} \exp(0,24\bar{f} - 0,35S_{оч}), \quad (1)$$

где m_B – вынимаемая мощность пласта, м;

$\bar{f}$ – крепость пород кровли по шкале проф. М.М. Протодяконова;

$S_{оч}$ – площадь поперечного сечения очистной выработки, м².

Нормативный метод определения утечек через ВП имеет следующую особенность: при крепости пород кровли более 8 единиц по шкале проф. Протодяконова документом [5] предписывается к расчету по формуле (1) принимать крепость, равную 8. Произвольное ограничение одного из аргументов не может не вызывать вопросы и порождает сомнения относительно его адекватности. Чтобы оценить влияние этого допущения на конечный результат, было выполнено численное моделирование функции $k_{утв} = f(\bar{f})$ в диапазоне $1,5 \leq \bar{f} \leq 12$ при зафиксированных среднестатистических значениях $S_{оч}$ и m_B .

Результаты моделирования представлены на рис. 1.

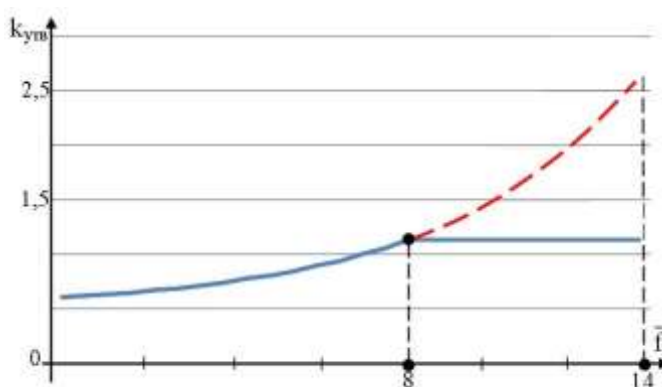


Рис. 1. График зависимости $k_{утв} = f(\bar{f})$ при $S_{оч} = 4$ м² и $m_B = 1,5$ м

При рассмотрении зависимости $k_{утв} = f(\bar{f})$ обращает на себя внимание резкий перелом кривой в точке на оси абсцисс 8, который в принципе не может иметь ничего общего с реальным поведением утечек через ВП в условиях плавного нарастания крепости пород кровли. Очевидно, что эта неестественность, искажающая общую картину, стала результатом грубого допущения, о котором говорилось. Нетрудно предположить, что и точность определения утечек оказалась под вопросом.

Цель работы – уточнение зависимости утечек воздуха через выработанное пространство выемочных участков угольных шахт от крепости пород кровли.

Известно, что по мере увеличения прочности пород кровли увеличиваются размеры ее фрагментов, обрушившихся на почву в результате выемки угля [6, 7]. Чем больше средние размеры фрагментов, тем больше

просветы между ними и меньше степень слеживания обрушенной массы. после ее попадания в зону заднего фронта опорного давления. Эти два фактора, действующие в одном направлении, приводят к интенсивному нарастанию газовой проницаемости ВП и соответствующему увеличению утечек воздуха через него.

Руководствуясь описанным представлением, разработчики рассматриваемой методики, в качестве основы для эмпирической зависимости, использовали кривую, близкую к квадратичной параболе: $k_{утв} = \bar{f}^2$. Это нашло свое отражение в нормативном документе [5]. Для того чтобы убедиться в справедливости сказанного, достаточно совместить кривую 1 $y = A + \exp(C\bar{f})$ из документа [5] с кривой 2: $y = A + \bar{f}^2$ (рис. 2).

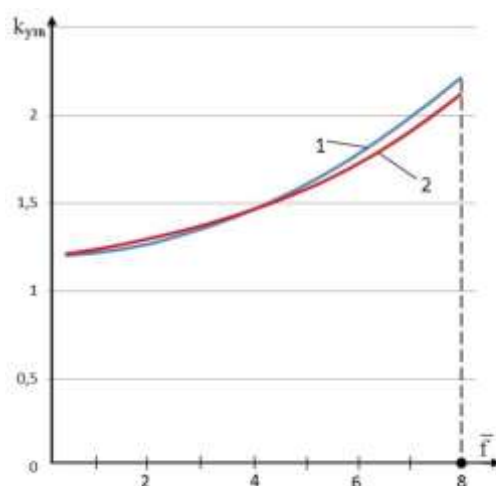


Рис. 2. Кривые $y = A + \exp(C\bar{f})$ и $y = A + \bar{f}^2$

Разработчики [5] выбрали экспоненту по той причине, что влияние площади сечения очистной выработки на утечки также носит экспоненциальный характер, что дает возможность компактно объединить оба фактора в виде выражения " $\exp(0,24\bar{f} - 0,35S_{оч})$ ", фигурирующего в качестве множителя в формуле (1).

Нетрудно заметить, что использованная в [5] зависимость $y = A + \exp(C\bar{f})$ предполагает с увеличением крепости пород кровли неограниченное нарастание утечек воздуха. Однако практикой подобное поведение $k_{утв}$ было подтверждено только на ограниченном диапазоне $\bar{f}$. Статистические данные, касающиеся фактических утечек воздуха в условиях шахт Донбасса, свидетельствуют о том, что при достижении крепости пород от 7 до 9 единиц по шкале проф. Протоdjeконова коэффициент уте-

чек через ВП постепенно стабилизируется на уровне от 2,2 до 2,8 [8].

Вероятно, этот факт и побудил разработчиков метода оценки коэффициента утечек ввести в методику ограничение: при крепости пород выше 8 принимать к расчету значение 8. Таким способом действительно удалось стабилизировать $k_{утв}$ и максимально приблизить его расчетное верхнее значение к наибольшим утечкам, наблюдаемым на практике. Однако желаемый результат, достигнут ценой грубого искажения общей картины, отражающей влияние крепости пород кровли на $k_{утв}$ и существенной погрешности его определения в диапазоне от 6 до 8 единиц по шкале проф. Протодьяконова.

Для усовершенствования расчета $k_{утв}$ точнее определим влияние крепости пород на газовую проницаемость ВП. В условиях роста крепости пород кровли их обрушение происходит все более упорядоченно, трещины между фрагментами постепенно стабилизируются, являясь каналами движения флюидов, а среднее расстояние между фрагментами, являющееся каналами движения флюидов, увеличивается [9,10]. На этом основании можно предположить, что рано или поздно наступит стабилизация газовой проницаемости обрушенной массы, а возможно, и ее некоторое снижение. Соответствующим образом должны вести себя утечки воздуха через ВП, что и наблюдается на практике.

Таким образом, чтобы уточнить зависимость $k_{утв} = F(\bar{f})$, необходимо при построении эмпирической кривой на основании фактических данных об утечках воспользоваться математической функцией, которая сначала ведет себя как экспонента или квадратичная парабола, а затем, по мере нарастания крепости пород, становится все более пологой и, наконец, стабилизируется на некотором уровне.

Подобными свойствами обладают математические функции типа $y = 1 - \exp(-x^n)$, при значениях $n > 1$, в частности, функция:

$$y = 1 - \exp(-x^3) . \quad (2)$$

Поскольку нет оснований сомневаться в достоверности данных, которые легли в основу эмпирической зависимости (1), наша задача заключается в описании зависимости $k_{утв} = F(\bar{f})$, с использованием выбранной функции. При этом надо добиться, чтобы новая кривая была максимально приближена к участку кривой на рис. 1 в диапазоне значений аргумента от 0,5 до 6 единиц по шкале проф. Протодьяконова и стабилизировалась на значении $k_{утв}$ от 2,5 до 3 при значениях $\bar{f} > 8$.

Анализ формулы (1) показывает, что все три фактора, влияющие на $k_{утв}$ ($m_{\text{в}}; \bar{f}; S_{\text{оч}}$), являются независимыми. Это дает право второе слагаемое формулы представить в виде произведения сомножителей, учитывающих эти факторы:

$$k_{утв} = 1 + 0,5m_{\text{в}} \exp(0,24\bar{f}) \exp(-0,35S_{\text{оч}}).$$

Данное обстоятельство существенно упрощает задачу, поскольку теперь для ее решения достаточно заменить выражение « $\exp(0,24\bar{f})$ » на новое, более точно отражающее характер изменения утечек воздуха. Такое выражение можно получить на основе функции (2). Для этого воспользуемся методом нелинейной интерполяции и определим диапазон изменения функции $y = \exp(0,24\bar{f})$ при изменении крепости пород. Нижнее значение $\bar{f} = 0,5$ соответствует крепости самых слабых горных пород. В качестве верхнего значения необходимо принять крепость 8, поскольку при этой крепости на практике наблюдается стабилизация $k_{утв}$:

$$y = \exp(0,24 \times 0,5) = 1,127; \quad y = \exp(0,24 \times 8) = 6,82.$$

График искомой функции должен проходить через полученные значения и одновременно описывать наблюдаемый на практике характер изменения $k_{утв}$ по мере нарастания крепости пород. Эти требования удовлетворяются выражением:

$$y = 1,127 + (6,82 - 1,127)[1 - \exp(-C\bar{f}^3)], \quad (3)$$

где C – безразмерный коэффициент, при котором в диапазоне $0,5 \leq \bar{f} \leq 8$ функция $y = \exp(-C\bar{f}^3)$ изменяется от 0 до 1.

После преобразований (3) получаем:

$$y = 6,82 - 5,673 \exp(-C\bar{f}^3).$$

Далее методом подбора получено значение безразмерного коэффициента $C = 0,0043$. Окончательное выражение для определения фактора «крепость пород»:

$$y = 6,82 - 5,673 \exp(-0,0043 \bar{f}^3).$$

Уточненная формула для коэффициента утечек выглядит следующим образом:

$$k_{\text{утв}} = 1 + 0,5 m_{\text{в}} \exp(-0,35 S_{\text{оч}}) [6,82 - 5,673 \exp(-0,0043 \bar{f}^3)]. \quad (4)$$

На рис. 3 приведены результаты численной реализации зависимости $k_{\text{утв}} = f(\bar{f})$ (4) при $S_{\text{оч}} = 4 \text{ м}^2$ и $m_{\text{в}} = 1,5 \text{ м}$.

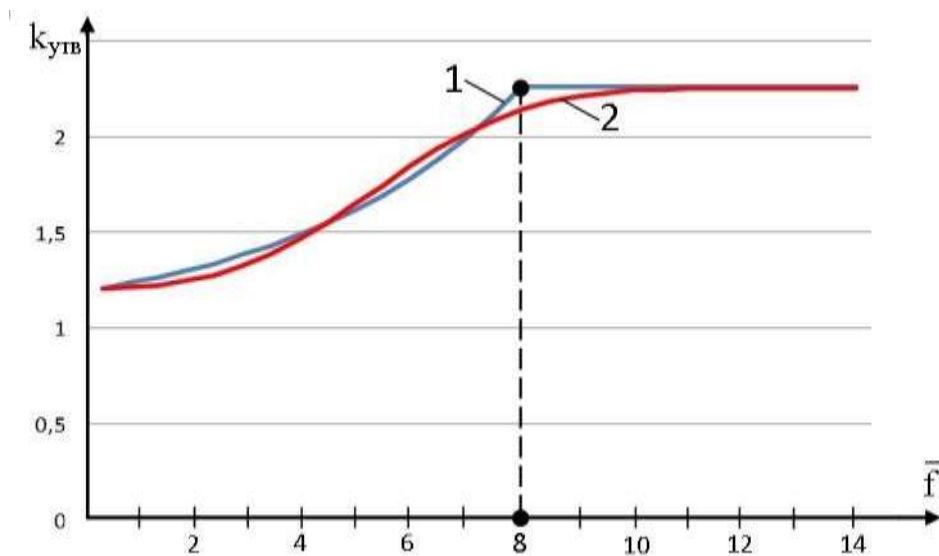


Рис. 3. Графики зависимостей исходной и уточненной функций

Кривая 2, полученная по формуле (4), соответствует динамике изменения утечек через ВП, наблюдаемой на практике, одновременно она достаточно тесно приближена к зависимости, полученной с помощью формулы (1) в диапазоне значений $\bar{f}$ от 0,5 до 6 единиц по шкале проф. Прото-
дьяконова. Максимальное различие между значениями, полученными по предложенной формуле (4), и формуле (1), не превышает 5%.

Важно отметить, что на кривой $k_{\text{утв}} = F(\bar{f})$, построенной по (4), отсутствует противоестественный перелом, наблюдаемый на исходной кривой 1, изображенной на рис. 1. Это дает основание считать, что предложенная формула (4) точнее отражает зависимость $k_{\text{утв}} = F(\bar{f})$ и избавляет от необходимости накладывания каких-либо ограничений на значение аргумента $\bar{f}$.

ВЫВОДЫ

Благодаря уточнению механизма влияния крепости пород на характер обрушений и газовую проницаемость обрушенной массы, предложена новая формула для определения коэффициента утечек воздуха через выработанное пространство. Полученное выражение одновременно обеспечивает наблюдаемую на практике динамику изменения коэффициента утечек с ростом крепости пород кровли и позволяет повысить безопасность работ за счет более точного определения утечек через выработанное пространство и расхода воздуха, подаваемого на выемочный участок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милетич А.Ф. Утечки воздуха и их расчет при проектировании шахт / А.Ф. Милетич. – Москва: Наука, 1968. – 148 с.
2. Шашмурин Ю.А. Фильтрационные утечки рудничного воздуха / Ю.А. Шашмурин. – Ленинград: Наука, 1970. – 130 с.
3. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика / Ф.А. Абрамов. – Москва: Недра, 1972. – 274 с.
4. Аэрология горных предприятий / К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, Л.А. Пучков, И.И. Медведев. – Москва: Недра, 1987. – 421 с.
5. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 311 с.
6. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. – Москва: Недра, 1980. – 360 с.
7. Иофис М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелев. – Москва: Недра, 1985. – 248 с.
8. Абрамов Ф.А. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии / Ф.А. Абрамов, Л.П. Фельдман, В.А. Святный. – Киев: Наукова думка, 1981. – 284 с.
9. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. – Ленинград: Недра, 1977. – 503 с.
10. Дортман Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых / Н.Б. Дортман, В.В. Федынский, И.И. Гуревич. – Москва: Недра, 1976. – 528 с.

Получено: 14.05.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Безбородов В.А.

UDC 622.812

G.B. TYNDA, head of department,

R.V. BEREGOVOY, research worker; GBU MAKNI, Makeyevka

**REFINEMENT OF DEPENDENCE BETWEEN AIR LEAKS
THROUGH THE MINED-OUT SPACE OF WORKING AREAS
OF COAL MINES AND HARDNESS OF THE ROOF ROCKS**

The analysis of dependence of air leaks through the mined-out space has revealed the assumption which misrepresents the overall character of leak changes during the increase of the hardness of roof rocks, thus having a negative impact on the ultimate result. The mechanism of impact of physical properties of the caved mass of the roof on gas permeability thereof has been specified; a new formula is proposed for determination of the coefficient of air leaks through the mined-out space.

Keywords: coal mine, mined-out space, caved mass, air leaks coefficient, hardness of roof rocks.

УДК 622.86**И.Н. АНДРУСЕНКО, гл. инж. горного отд.;****ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ», г. Донецк;****Г.Б. ТЫНДА, зав. отд.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка**

О НОРМАТИВНОЙ БАЗЕ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩЕЙ ДЕЙСТВИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВГСЧ ПРИ СПАСЕНИИ ГОРНОРАБОЧИХ

Проанализированы нормативные документы, регламентирующие расчет времени, необходимого для разведки, оказания первой медицинской помощи и эвакуации пострадавшего отделением ВГСЧ и определен документ, наиболее адаптированный к условиям угольных шахт Донбасса. Выявлены принципиальные недостатки одного из нормативных документов в части учета влияния физической усталости горноспасателей на скорость движения подразделений. Предложен новый подход, обеспечивающий повышение точности планирования горноспасательных работ.

Ключевые слова: авария, застигнутый горнорабочий, время выполнения задания, время действия дыхательного аппарата, усложняющие факторы, физическая усталость.

Интеграция в Российскую Федерацию (РФ) новых регионов сопровождается радикальным изменением нормативной правовой базы, регламентирующей все сферы их деятельности. Этот процесс трудоемок и сопряжен с объективными трудностями, обусловленными спецификой каждого региона. Сказанное в полной мере относится к горноспасательной службе (ВГСЧ) Донбасса, обеспечивающая безопасность угольных предприятий, расположенных в ДНР.

В период с 1998 по 2016 год деятельность ВГСЧ на территории Донецкой области регламентировал документ [1], с 2016 года в связи с образованием ДНР служба переведена под юрисдикцию [2], в 2022 году после присоединения ДНР к РФ осуществлен переход на [3]. Таким образом, в течение последних десяти лет подразделения ВГСЧ, обслуживающие донецкий регион, изменили свою нормативную базу дважды.

Известно, что аварийно-спасательные работы (АСР) являются экстремальным видом деятельности. Опыт всех угледобывающих стран свидетельствует о том, что ошибки в расчетах, неверная оценка обстановки или неточный прогноз ее изменения, на основании которых принимаются неадекватные решения в ходе ликвидации аварии, могут иметь весьма печальные последствия. Невыполнимое задание, выдаваемое оперативным

работникам ВГСЧ, является приговором для застигнутых шахтеров и одновременно подвергает серьезному риску жизнь и здоровье самих горноспасателей.

В создавшейся ситуации оценка возможных последствий перехода горноспасательной службы ДНР на новые рельсы имеет принципиальное значение. Следует добавить, что реформа нормативной базы одновременно является прекрасным поводом для того, чтобы еще раз убедиться в адекватности методов, используемых при планировании АСР.

Цель работы – провести сравнительный анализ действующего и ранее действующих нормативных документов, регламентирующих планирование АСР, разработать предложения по рациональному использованию возможностей ВГСЧ и минимизации рисков.

Типовой задачей является планирование мероприятий для спасения горнорабочих, застигнутых в выработках, атмосфера которых непригодна для дыхания. Частным случаем планирования является установление возможности оказания медицинской помощи и эвакуации горнорабочего, не способного самостоятельно передвигаться, силами одного отделения ВГСЧ. Этапами выполнения задания являются: «движение отделения вперед и поиск горнорабочего», «оказание первой медицинской помощи горнорабочему и подготовка его к эвакуации», «эвакуация за пределы зоны поражения». В качестве исходных данных для решения этой задачи используется информация о местонахождении горнорабочего и условиях маршрута движения к нему. Следует обратить внимание на некоторую абстрактность задачи, поскольку достоверная информация о местонахождении горнорабочего и условиях маршрута движения к нему, как правило, на командном пункте отсутствует.

Детальный анализ документов [1,2,3] показал, что спасение горнорабочих базируется на общих представлениях о зоне поражения и предполагает единый подход. Различия касаются только расчета скорости движения отделения ВГСЧ.

Согласно [1,2,3], возможность самостоятельного выполнения того или иного задания отделением ВГСЧ определяется следующим образом. Сначала рассчитывается общее время, необходимое для выполнения задания $T_{\text{пол}}$, которое затем сравнивается со временем ресурса дыхательного аппарата $T_{\text{зд}}$ за вычетом 25% этого ресурса на непредвиденные обстоятельства. И, если расчетное время выполнения задания окажется равно или меньше 75% ресурса аппарата, задание считается выполнимым.

В противном случае нормативами предписывается рассмотреть другие варианты спасения, в частности, способом волновой эвакуации с привлечением большего количества отделений, применением специальной техники или ликвидацией зоны поражения путем изменения режима про-

ветривания аварийной выработки, в которой находится горнорабочий.

Расчет общего времени, необходимого для выполнения задания $\tau_{\text{пол}}$, производится по формуле:

$$\tau_{\text{пол}} = \tau_{\text{оп}} + \tau_{\text{дв}}, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{оп}}$ – продолжительность оказания помощи горнорабочему в месте его нахождения и подготовка его к эвакуации. Согласно всем трем нормативным документам $\tau_{\text{ок}} = 10$ мин.;

$\tau_{\text{дв}}$ – общее время движения отделения в непригодной для дыхания атмосфере к горнорабочему и обратно, мин.:

$$\tau_{\text{дв}} = \sum_{i=1}^N \tau_i, \quad (2)$$

где N – общее количество отрезков маршрута, каждый из которых характеризуется постоянным или отличным от других отрезков набором следующих факторов, влияющих на скорость прохождения: угол наклона, высота выработки, направление движения – «вверх» или «вниз», вес переносимого горнорабочего, видимость и температура окружающей среды. Следует понимать, что при прохождении одного и того же отрезка маршрута, условия движения в одном направлении могут резко отличаться от условий движения противоположном в направлении, поэтому их рассматривают отдельно;

τ_i – время прохождения i отрезка маршрута, характеризующегося постоянными условиями движения, мин.

Очевидно, что

$$\tau_i = \frac{L_i}{\bar{V}_i}, \quad (3)$$

где L_i – протяженность i отрезка маршрута, м;

$\bar{V}_i$ – средняя скорость движения отделения на i отрезке маршрута в определенном направлении – вперед или назад, м/мин.

Подход к определению $\bar{V}_i$ в анализируемых документах также, в целом, совпадает. Сначала для каждого отрезка маршрута по углу наклона, высоте выработки, направлению движения отделения и характеру задания, разведка или транспортировка пострадавшего, определяется нормативная средняя скорость при отсутствии факторов, усложняющих движение. Затем эта скорость корректируется поправочными коэффициентами, учиты-

вающими влияние упомянутых факторов:

$$\bar{V}_i = \bar{V}_{i0} k_1 k_2 \dots k_j, \quad (4)$$

где $\bar{V}_{i0}$ – нормативная средняя скорость отделения при отсутствии факторов, усложняющих движение, определяемая углом наклона и высотой выработки, направлением движения и характером задания, м/мин.;

$k_1 k_2 \dots k_j$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние усложняющих факторов на скорость движения отделения;

j – общее количество усложняющих факторов, принятых к учету в конкретном документе [1,2,3].

При отсутствии усложняющих факторов нормативная скорость движения во всех документах одинакова. Документы отличаются наборами учитываемых усложняющих факторов и значениями некоторых поправочных коэффициентов.

Согласно [1,2,3] к факторам, усложняющим движение отделения, относятся: задымленность или ограничение видимости, повышенная температура окружающей среды, вес транспортируемого пострадавшего, превышающий нормативный, физическая усталость исполнителей.

В табл. 1 приведены наиболее распространенные усложняющие факторы и диапазоны изменения поправочных коэффициентов из [1,2,3].

Таблица 1

Диапазоны изменения поправочных коэффициентов,
учитывающих усложнение условий движения отделения ВГСЧ

Усложняющие факторы	Диапазоны значений поправочных коэффициентов, указанных в:		
	[3] Устав ВГСЧ РФ	[2] Устав ГВГСС ДНР 2015г.	[1] Устав ГВГСС Украина 1997г.
Ограничение видимости	0,5 - 1	0,14 - 1	0,14 - 1
Повышенная температура окружающей среды	не учитывается	0,96 - 1	0,96 - 1
Избыточный вес транспортируемого пострадавшего	не учитывается	не учитывается	0,27-1
Физическая усталость исполнителей	не учитывается	0,65 - 1	0,65 - 1

Примечание. В целях обеспечения единообразия представляемого материала в качестве поправочного коэффициента в колонке 2 приведен диапазон его обратных значений (которые фигурируют в нормативном документе).

Анализ таблицы показывает отличия в документах при учете усложняющих факторов: в [1] учтены все приведенные усложняющие факторы, в [2] не учтен один фактор, а в [3] не учтены три фактора из четырех. Согласно [1,2] диапазон изменения поправочного коэффициента, учитывающего ограничение видимости, в 3 раза больше, чем в [3].

Для того, чтобы продемонстрировать, как выявленные отличия способны повлиять на окончательный результат, данные из [1,2,3] были реализованы при решении конкретной задачи горноспасательного дела.

На рисунке изображена схема аварийных выработок с непригодной для дыхания атмосферой, в одной из выработок находится горнорабочий с признаками жизни, у которого отсутствует возможность самостоятельной эвакуации.

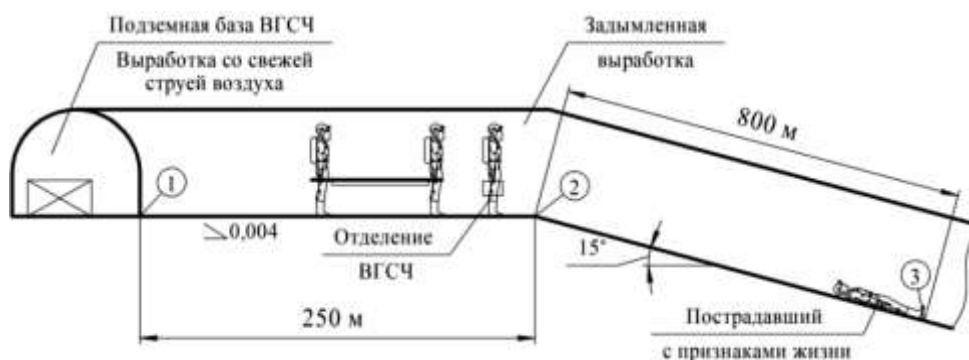


Рисунок – Схема для расчета времени на разведку, оказание первой помощи и эвакуацию горнорабочего отделением ВГСЧ

Согласно схемы маршрут движения отделения ВГСЧ к застигнутому горнорабочему состоит из двух последовательно расположенных разнородных отрезков 1-2 и 2-3. Обозначение отрезков при движении назад выполнено в обратной последовательности и состоит из отрезков 3-2 и 2-1.

Условия выполнения задания, зависящие от состояния горных выработок и веса горнорабочего, приведены в табл. 2.

Полученные результаты позволяют утверждать следующее: исключение в [3] ряда усложняющих факторов привело к тому, что время выполнения задания от 1,5 до 2 раз меньше времени при расчете по [1,2]. Таким образом, при расчете времени в соответствии с [3] задание оказывается выполнимым, расчеты времени согласно [1] и [2] свидетельствуют о том, что задание выполнить невозможно.

Время выполнения задания рассчитано по формулам (1-4) с использованием данных табл. 1 и представлены в табл. 3.

Таблица 2

Условия выполнения задания

Пока- затели	Параметры маршрута движения отделения							Видимость, м	Температура, °С	Вес застигнутого г/рабочего. кг
	длина выработки, м		высота выработки, м		угол наклона выра- ботки, градус					
	отрез- ки 1-2 и 2-1	отрез- ки 2-3 и 3-2	отрез- ки 1-2 и 2-1	отрез- ки 2-3 и 3-2	отрез- ки 1-2 и 2-1	отрезки				
						2-3	3-2			
Значе- ния пока- зате- лей	250	800	2	2	0	-15	+15	5-6	27-31	90

Примечание. Знаки «-» и «+» в 7-ой и 8-й колонках обозначают направления движения по наклонной выработке, соответственно, вниз и вверх.

Таблица 3

Результаты определения времени выполнения задания

Нормативный документ	Время движения отделения по отрезкам маршрута, мин.				Оказание помощи, мин.	Общее время выполнения задания, мин.	Доля защитного ресурса Р-30, затраченного на выполнение задания, %; вывод о возможности выполнения задания
	1-2	2-3	3-2	2-1			
Устав ВГСЧ РФ [3]	8	38	100	16	10	172	96<100 выполнимо
Устав ГВГСС ДНР [2]	11	57	148	26		252	140>100 невыполнимо
Устав ГВГСС Украина [1]	11	57	205	37		320	178>100 невыполнимо

Проанализируем, что произойдет, если, вследствие неточного расчета, фактическое время выполнения задания превысит допустимое время нахождения в непригодной атмосфере. Следуя требованиям [1, 2, 3], при исчерпании ресурса респиратора во время движения вперед командир ВГСЧ обязан развернуть отделение и сообщить о принятом решении на командный пункт. После этого, оставив прокладываемую линию связи, возвратиться на подземную базу. Это означает, что, вследствие неправильного планирования задания, действия горноспасателей оказались неэффективными.

Другие варианты спасения будут реализовываться только после сообщения командира подразделения о невозможности выполнения задания. Это произойдет не ранее, чем через 65 минут после первоначального ухода отделения на задание. Таким образом, драгоценное время будет упущено, а вероятность спасения горнорабочего значительно снизится [1].

В связи с изложенным, возникает закономерный вопрос: требования какого из рассмотренных нормативных документов следует выполнять при ведении АСР на шахтах ДНР?

В настоящее время возможность объективной оценки обоснованности показателей отсутствует. Поэтому при принятии окончательного решения о целесообразности применения рассмотренных нормативных документов в условиях шахт ДНР важно понимание причин возникновения тех отличий в расчетах, которые выявлены настоящим анализом.

До 1991 года горноспасательные подразделения РСФСР и Донбасса руководствовались единой нормативной базой [4]. При этом условия аварий и условия ведения АСР на шахтах Ростовской области, Кузбасса, Воркуты не отличались от условий аварий и условий ведения АСР на донецких шахтах, чтобы обосновывать для Донбасса особые требования.

Ситуация начала быстро меняться с середины 90-х годов, когда добыча угля на ведущих предприятиях Донбасса, таких как шахты им. А.А. Скочинского, им. А.Ф. Засядько, «Краснолиманская», достигнув глубин от 1200 до 1400 м, стала производиться в особо сложных горно-геологических условиях. Как следствие, произошли аварии с катастрофическими последствиями и жертвами среди горноспасателей.

Уникальный опыт спасения людей в экстремальных ситуациях заставил исследователей обратить внимание на ряд факторов, влияющих на эффективность горноспасательных работ, которые ранее не учитывались. В это же период времени условия добычи угля в остальных регионах РФ изменились гораздо в меньшей степени, поэтому необходимость уточнения норм, приведенных в [3], так и не возникла.

Принимая во внимание изложенное, становится очевидным, что планирование горноспасательных работ в процессе ликвидации аварий должно осуществляться согласно [1], поскольку именно этот документ наиболее полно учитывает факторы, влияющие на скорость передвижения подразделений ВГСЧ в условиях шахт ДНР.

Однако обоснованный в рамках данной статьи выбор в пользу этого документа вовсе не отменяет необходимость его критического анализа, поскольку серьезные недоработки в нем продолжают выявляться и сегодня.

Чтобы убедиться в справедливости такого утверждения, обратимся к таблице 3 Приложения 7 [1], в которой приведены нормативные значения коэффициента, учитывающего снижение скорости движения отделения, по

мере увеличения пройденного расстояния, вследствие усталости. Обсуждать данный вопрос удобнее, если использовать таблицу 2 Приложения 7 [2]. В части учета фактора «усталость» данные таблиц идентичны. Разница между ними состоит только в том, что в таблице 3 Приложения 7 [1] приведены коэффициенты усталости, умноженные на коэффициент, учитывающий избыточный вес горнорабочего, что несколько затрудняет процесс анализа. Данные таблицы 2 Приложения 7 [2] отображены в табл. 4.

Таблица 4

Нормативные значения коэффициента, учитывающего снижение скорости движения отделения по мере увеличения пройденного расстояния

Расстояние, км	До 0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5	4,5-5
Коэффициент, учитывающий снижение скорости	0,94	0,91	0,87	0,84	0,81	0,78	0,74	0,71	0,68	0,65

В табл. 4 обращает на себя внимание использование в качестве верхнего значения пройденного расстояния 5 км и соответствующих этой ему интервалов длиной 0,5 км. Не подвергая сомнениям достоверность приведенных в таблице показателей снижения скорости, можно утверждать следующее. Подобное представление означает, что максимальной степени усталости и соответствующего коэффициента снижения скорости, равного 0,65, горноспасатели смогут достичь лишь в том случае, если преодолеют 5 км. Именно этот результат, приведенный в табл. 4, представляется некорректным, что обосновывается далее приведенными рассуждениями.

Предположим, что отделению выдано задание, связанное с эвакуацией горнорабочего по маломощной крутопадающей (угол 60°) лаве вверх в условиях задымленности и повышенной температуры. В подобных условиях средняя скорость передвижения составит не более 5 м/мин, а максимальная протяженность маршрута, до исчерпания защитного ресурса Р-30, не превысит 1 км. Отделение в конце задания, примерно, через три часа напряженной работы, будет находиться на пределе своих физиологических возможностей. Логично предположить, что в подобной ситуации, вследствие физической усталости, средняя скорость должна снизиться до своего минимума, то есть до 65% от исходной. Однако, нормативное значение данного коэффициента, в рассмотренной ситуации, согласно табл. 4 должно составлять не менее 0,91. Иными словами, в нормативном документе [2]

утверждается, что снижение скорости в приведенном примере соответствует физиологическому состоянию отделения после выполнения, примерно, пятой части задания. Как результат – необоснованное занижение времени выполнения задания достигает порядка 40%.

Из изложенного следует, что при определении коэффициента, учитывающего «физическую усталость», в качестве аргумента «пройденное расстояние» должен фигурировать не максимально возможный диапазон от 0 до 5 км, принятый в табл. 4, а реально ожидаемый диапазон, который необходимо оценить с использованием [1, 2, 3]. Очевидно, что в каждом конкретном случае пройденное расстояние, при котором коэффициент снизится до минимального значения, должно соответствовать условиям выполнения задания. В самых легких условиях движения это может оказаться и 5 км, а в самых тяжелых – не превысит даже 500 м.

Для устранения выявленного недостатка и более корректного решения рассматриваемой задачи целесообразно привязать коэффициент «физическая усталость» не к пройденному расстоянию, а ко времени выполнения задания. Для этого сначала математически опишем зависимость $k_{уст}(L)$, следующим образом:

$$k_{уст}(L) = k_{уст}(0) - A_l L, \quad (5)$$

где $k_{уст}(0)$ – коэффициент «физическая усталость» в начале задания, т. е., при пройденном пути, равном нулю;

L – пройденный путь, м;

A_l – параметр, характеризующий снижение скорости вследствие усталости по мере увеличения пройденного пути, м^{-1} .

Из табл. 4 видно, что $k_{уст}(L)$ снижается после прохождения 5 км от 1 в начале пути до 0,635, т.е. до среднего значения для диапазона «4,5 – 5 км». Это значит, что при пройденном расстоянии 4,5 км коэффициент окажется несколько больше среднего значения (порядка 0,665), а при расстоянии 5 км, наоборот, меньше – 0,635. Приведенные рассуждения позволяют нам обосновать значения показателей, входящих в уравнение (5): $k_{уст}(0 \text{ км}) = 1, k_{уст}(5 \text{ км}) = 0,635$.

Теперь надо доказать, что к моменту, когда ресурс респиратора будет исчерпан, коэффициент «физическая усталость» снизится до наименьшего значения.

Для этого покажем, что, если отделение будет двигаться на всех отрезках маршрута с максимально возможной начальной скоростью, предписанной [3], то к 180 мин, с учетом усталости, при эвакуации пострадавшего горноспасатели преодолеют расстояние, примерно, 5 км, которое указано в

табл. 4.

Пройденное расстояние L определяется:

$$L = (V_1 \tau_1 + V_2 \tau_2) \bar{k}_{уст}, \quad (6)$$

где V_1, V_2 – начальные нормативные скорости движения отделения, соответственно, вперед и назад, м/мин;

$\bar{k}_{уст}$ – среднее значение коэффициента на отрезке длиной, примерно, 5 км:

$$\bar{k}_{уст} = \frac{k_{уст}(0\text{км}) + k_{уст}(5\text{км})}{2} = \frac{1 + 0,635}{2} = 0,817,$$

где τ_1, τ_2 – время движения отделения, соответственно, вперед и назад, мин.

Поскольку в результате выполнения задания отделение обязано возвратиться в отправную точку, должны соблюдаться следующие условия:

$$V_1 \tau_1 = V_2 \tau_2 \quad \tau_1 + \tau_2 \leq \tau_{зд},$$

где $\tau_{зд} = 180$ мин., время защитного действия респиратора.

С учетом наложенных условий уравнение (6) преобразуется до следующего вида:

$$L = \left(\frac{\tau_{зд} V_2 V_1}{V_1 + V_2} + \frac{\tau_{зд} V_1 V_2}{V_1 + V_2} \right) \bar{k}_{уст} = \frac{2 \tau_{зд} V_2 V_1 \bar{k}_{уст}}{V_1 + V_2}. \quad (7)$$

Подставляя в (7) значения $V_1, V_2, \bar{k}_{уст}$, определяем максимально возможное расстояние, которое способно преодолеть отделение при эвакуации пострадавшего:

$$L = \frac{2 \times 180 \times 45 \times 22,6 \times 0,817}{45 + 22,6} = 4425 \text{ м.}$$

Полученный результат достаточно близок к 5 км, поэтому можно считать, что, независимо от сложности маршрута, к 180-й минуте работы горноспасателя в респираторе коэффициент «физическая усталость» должен снизиться до 0,635. Учитывая это, а также линейный характер уменьшения скорости, коэффициент «физическая усталость» можно описать в

виде функции времени:

$$k_{уст}(\tau) = 1 - A_{\tau}\tau,$$

где τ – время выполнения задания, мин;

A_{τ} – параметр, характеризующий снижения скорости вследствие усталости по мере увеличения времени выполнения задания, мин^{-1} .

Параметр A_{τ} можно определить, зная его значение на 180-ой минуте задания:

$$0,635 = 1 - A_{\tau} \times 180,$$

$$A_{\tau} = \frac{0,365}{180} \approx 0,002 \text{ мин}^{-1}.$$

Таким образом, выражение для коэффициента «физическая усталость», в котором время обязательно должно измеряться в минутах, выглядит следующим образом:

$$k_{уст}(\tau) = 1 - 0,002\tau.$$

Выразим текущую скорость движения отделения на однородном отрезке маршрута в виде функции времени $V(\tau)$:

$$\begin{aligned} V(\tau) &= V_0 k_{уст}(\tau), \\ V(\tau) &= V_0 (1 - 0,002\tau), \end{aligned} \quad (8)$$

где V_0 – начальная скорость движения, м/мин.

Расстояние L , пройденное в течение произвольного промежутка времени $\Delta\tau_i$, определяем интегрированием выражения (7) по времени с пределами интегрирования от 0 до $\Delta\tau_i$:

$$L = \int_0^{\Delta\tau_i} V(\tau) d\tau = \int_0^{\Delta\tau_i} V_0 (1 - 0,002\tau) d\tau,$$

$$L = \left(V_0 \tau - \frac{0,002 V_0 \tau^2}{2} \right),$$

$$L = V_0 \tau - 0,001 V_0 \tau^2.$$

В результате интегрирования получаем квадратное уравнение:

$$0,001V_0\Delta\tau_i^2 - V_0\Delta\tau_i + L = 0,$$

или

$$\Delta\tau_i^2 - 1000\Delta\tau_i + \frac{1000L}{V_0} = 0. \quad (9)$$

Корни уравнения (8) выглядят следующим образом:

$$\Delta\tau_i = 500 \pm 10 \sqrt{2500 - \frac{10L}{V_0}}.$$

$\Delta\tau_i$, полученное при положительном знаке перед радикалом, превышает 180 минут: $\Delta\tau_i \geq 500$ мин, поэтому интереса не представляет.

Тогда единственным решением является:

$$\Delta\tau_i = 500 - 10 \sqrt{2500 - \frac{10L}{V_0}}. \quad (10)$$

Формула (10) позволяет определять время преодоления отрезка длиной L при известной начальной скорости V_0 в условиях ее монотонного снижения вследствие влияния физической усталости горноспасателей. Эта формула обеспечивает достоверность результатов в диапазоне от 0 до 180 мин.

Согласно предложенному подходу расчет времени прохождения произвольно выбранного отрезка маршрута $\Delta\tau_i$, с учетом фактора «физическая усталость», состоит из следующих действий:

– определение скорости движения отделения в начале рассчитываемого n отрезка с учетом уже пройденного пути по формуле:

$$V_{0n} = k_{уст_0} V'_{0n},$$

где $k_{уст_0}$ – коэффициент «физическая усталость» к началу рассчитываемого отрезка, то есть, после пройденных предыдущих $n-1$ отрезков маршрута:

$$k_{уст_0} = 1 - 0,002 \sum_{i=1}^{n-1} \Delta\tau_i,$$

где $\Delta\tau_i$ – время прохождения i отрезка маршрута, мин;

$n - 1$ – общее количество отрезков маршрута, пройденных перед рассчитываемым отрезком;

V'_{0n} – скорость движения отделения на рассчитываемом отрезке без учета фактора «физическая усталость», определяется в установленном порядке согласно [1]:

$$V'_{0n} = f(\alpha_n; H_n; W_n; t_n; G),$$

где в скобках приведены параметры, характеризующие условия движения отделения на n отрезке, в частности:

α_n – угол наклона выработки, град;

H_n – высота выработки, м;

W_n – дистанция видимости, м;

t_n – температура окружающей среды °C;

G – вес транспортируемого горнорабочего, кг;

– определение по формуле (10) времени прохождения n отрезка $\Delta\tau_n$ с учетом фактора «физическая усталость».

Для апробации предложенного подхода воспользуемся условиями задачи, решенной нами ранее (рис. 1 и табл. 1 и 2), и сравним полученные результаты с результатами расчета, выполненного согласно [1]. Как указывалось, именно в этом документе факторы, усложняющие движение, учтены наиболее полно. Время для выполнения задания, рассчитанное согласно предложенному подходу, приведено в табл. 5.

Как следует из приведенных в табл. 5 результатов, высказанные нами ранее опасения полностью подтвердились. Некорректный учет усталости, выполненный в соответствии с требованиями [1], привел к тому, что расчетное время прохождения самого тяжелого отрезка 3-2 оказалось заниженным на 33%, т.е. 205 мин, вместо обоснованных математически, согласно новому подходу, 302 мин. Время прохождения отрезка 2-1 также оказалось существенно заниженным.

В заключении стоит еще раз отметить востребованность научного сопровождения расчетов для дальнейшего совершенствования нормативов, содержащихся в Уставах ВГСЧ. Важность исследований в этом направлении обусловлена, прежде всего, тем, что горноспасательное дело вобрало в себя уникальный опыт выполнения различных операций в экстремальных условиях и заслуживает особого внимания при решении аналогичных задач, встречающихся в других сферах человеческой деятельности.

Таблица 5

Время выполнения задания согласно расчету, учитывающему
более точно физическую усталость горноспасателей

Номера отрезков маршрута, характер задания	Длина отрезка, м	Коэффициент учета видимости и температуры	Коэффициент учета усталости	Коэффициент усталости (в начале отрезка)	Суммарный коэффициент влияния усложняющих факторов	Нормативная скорость для отрезка, м/мин	Скорость в начале каждого отрезка с учетом усложнений, м/мин	Время преодоления отрезка, мин.	
								с учетом усталости согласно предложенному подходу	согласно [1].
1-2 разведка	250	0,53	1	1	0,53	45	23,9	10,6	11
2-3 разведка	800	0,53	1	0,98	0,52	29,1	15,1	56	57
3-2 трансп. застигнутого	800	0,53	0,7	0,87	0,32	11,8	3,8	302	205
2-1 трансп. застигнутого	250	0,53	0,7	0,64	0,24	22,6	5,4	49	37
Оказание помощи								10	10
Суммарное время выполнения задания								428	320

Примечание: Для времени, прошедшего с момента начала выполнения задания более 180 мин., коэффициент усталости принят 0,635.

ВЫВОДЫ

В результате сравнительного анализа нормативных документов, посвященных организации аварийно-спасательных работ, проведенных расчетов и математического моделирования движения отделения при выполнении задания:

– установлено, что в условиях шахт ДНР самое точное планирование мероприятий по спасению горнорабочих, застигнутых в горных выработках, обеспечивает документ [1], поскольку именно в нем наиболее полно учтены факторы, влияющие на скорость передвижения подразделений ВГСЧ в непригодной для дыхания атмосфере;

– выявлены недостатки в документах [1,2] при учете влияния пройденного пути на скорость движения отделений ВГСЧ, в процессе устранения которых определено время движения отделения при снижении скорости и предложен более точный расчет влияния фактора «физическая усталость».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДНАОП 1.1.30-4.01.97. Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ. – Киев, 1997. – 453 с.
2. «Устав по организации и ведению горноспасательных работ Государственной военизированной горноспасательной службой Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий». Утвержден Приказом МЧС ДНР 28.12.2015 №965. Портал «Государственная информационная система нормативных правовых актов ДНР». URL: <https://gisnpa-dnr.ru/o-sajte/https://gisnpa-dnr.ru/npa/0019-965-20151209/>.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2020 г. №520. База НПА – сайт нормативно-правовых документов и юридических образцов. URL: <https://bazanpa.ru/rostechnadzor-prikaz-n520-ot11122020-h5008801/>
4. Устав ВГСЧ по организации и ведению горноспасательных работ. – Москва: Недра, 1986. – 254 с.

Получено: 08.05.26

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук В.А. Безбородов

UDC 622.86

I. N. ANDRUSENKO, *engineer in-chief of mining department,*
GBU DONGIPROSHAKHT, Donetsk

G.B. TYNDA, *head of department, GBU MAKNI, Makeyevka*

REGULATORY FRAMEWORK REGULATING THE ACTIONS OF MINE RESCUE BRIGADE UNITS DURING THE RESCUE OF MINE WORKERS

In this research paper regulatory documents have been examined regulating the calculation of time needed for searching, immediate treatment and evacuation of injured by the mine rescue brigade unit; the most adapted document to conditions of Donbas coal mines has been selected. The critical weaknesses of one of regulatory documents have been identified as regards consideration of impact of physical fatigue of mine rescuer on the travelling velocity of the mine

rescue units. A new approach is proposed ensuring the increase of planning accuracy of mine rescue operations.

Keywords: accident, overtaken mine worker, task-performance time, protective power time of a respiratory protective device, complicating factors, physical fatigue.

УДК 622.831

Г. Б. ТЫНДА, зав. отд.,
О. Г. БОЛТУНОВ, зав. лаб.,
В. В. ЗУШИНСКАЯ, зав. сект.,
С. И. ТОЛОШНЫЙ, ст. науч. сотр.,
Л. А. РОМЕНСКАЯ, науч. сотр.; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ДЕГАЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Обоснована необходимость создания устройства, контролирующего и запоминающего параметры газовой среды в дегазационном трубопроводе, позволяющего одновременно измерять несколько параметров: объемное содержание метана, углекислого газа, монооксида углерода, температуры газовой смеси и ее влажности.

Ключевые слова: дегазационная система, аварийная ситуация, газовая среда, режим контроля, контролируемые параметры, устройство контроля.

Дегазационная система угольных шахт обеспечивает снижение газовыделения в выработки, является эффективным средством пожаротушения и является единственным источником информации о газовой среде в недоступных местах выработанного пространства. Вместе с тем при попадании дегазационного трубопровода в зону горения он становится фактором опасности.

Поэтому для оптимального управления процессом ликвидации аварии на объекте, использующим дегазацию, необходимо контролировать и состояние дегазационной системы. То есть, помимо параметров вентиляционных струй, требуется контроль газовой среды в трубопроводе. А для правильной интерпретации результатов контроля необходимо располагать средствами, позволяющими по полученным значениям параметров эту оценку выполнить.

Поскольку аварийная ситуация может резко изменяться, для определения динамики и тенденций ее изменения первостепенное значение приобретает скорость получения информации.

Применяемый в настоящее время переносной прибор позволяет производить замер в одной точке, однако он характеризуется высокой по-

грешностью и измеряет только один параметр. Отображение замера производится вручную.

Поэтому разработка устройства для контроля параметров газовой среды в дегазационных трубопроводах, измеряющего одновременно несколько параметров актуальна.

Цель работы – обоснование необходимости создания устройства, контролирующего и запоминающего параметры газовой среды в дегазационном трубопроводе.

Известные устройства, как правило, предназначены для мониторинга газовой смеси в дегазационном трубопроводе, а также скорости газовой смеси и ее давления [1].

Конструктивно устройства состоят из корпуса, набора газовых сенсоров, устройств обработки полученных данных и вывода информации в аналоговом или цифровом формате. Эти устройства находят применение в различных сферах, в том числе на промышленных предприятиях для контроля выбросов, обеспечения безопасности труда и оптимизации технологических процессов. Особое внимание уделяется устройствам, предназначенным для эксплуатации в шахтах, опасных по газу и/или пыли, где существует повышенный риск взрыва пылегазовой смеси и отравления газами. Такие приборы должны обладать взрывозащищенным исполнением, соответствующим стандартам IEC 60079-1 (взрывонепроницаемая оболочка) и МЭК 60079-11:1999 (искробезопасная электрическая цепь) [2]. В качестве сенсоров в этих устройствах могут использоваться как отечественные, так и зарубежные компоненты.

Несмотря на широкие функциональные возможности, известные устройства имеют существенные ограничения, препятствующие их использованию в качестве приборов независимого контроля. Основные проблемы связаны с:

- вмешательством обслуживающего персонала, так называемый «человеческий фактор», может привести к некорректным показаниям;
- изоляцией сенсоров, которые могут быть частично или полностью изолированы от контролируемой атмосферы, что снижает точность измерений.

Для эффективного мониторинга дегазационных систем, особенно в угольных шахтах, предъявляются требования к устройству, измеряющему следующие параметры:

- содержание метана: от 0 до 100 об.%;

Для точного измерения таких высоких концентраций метана необходимо использовать оптические сенсоры;

- содержание углекислого газа: от 0 до 2 об.%. Для его контроля

наиболее подходят электрохимические сенсоры, например, выпускаемые компанией «КИП Комплект сервис»;

– влажность: до 100 %;

– температуру газовой смеси: от -5°C до 35°C.

Помимо основных параметров, в дегазационных системах необходимо контролировать концентрацию сероводорода. Его появление может быть обусловлено геологическими особенностями месторождений, химическими процессами в угольном массиве и технологическими операциями. Нормативные документы в области промышленной безопасности, в частности «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт», Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 №506, устанавливают допустимую погрешность измерения концентрации сероводорода, которая не должна превышать $\pm 25\%$ от измеряемой величины [3].

Особое внимание уделяется изменениям температуры. При резком повышении температуры в дегазационном трубопроводе на 3°C в течение пяти минут, мониторинг температуры должен осуществляться постоянно.

В дальнейшем, при разработке технического задания будут регламентированы требования к образцу устройства, запоминающего и обрабатывающего результаты контроля параметров газовой среды в дегазационных трубопроводах в аварийных режимах. При ликвидации аварий это устройство позволит получать информацию о состоянии газовой среды в дегазационной системе и ее изменении аварий.

ВЫВОДЫ

Установлено, что используемые в настоящее время устройства для контроля параметров газовой смеси в дегазационном трубопроводе не позволяют одновременно измерять несколько параметров, а именно: объемное содержание метана, углекислого газа, монооксида углерода, температуры газовой смеси и ее влажности, поэтому необходимо разработать устройство, позволяющее контролировать одновременно несколько параметров газовой среды в дегазационных трубопроводах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент Великобритании W O 2020/124166 A1 25 June 2020 (25.06.2020) W IPO I PCT Система и приборы для контроля газа. МПК E21 F 7/00 (2006.01), E21 F 17/18 (2006.01), F 17D 3/01(2006.01), G 08B 21/00 (2006.01). Номер международной публикации: WO 2020/124166 A1 Дата международной публикации: 25 июня 2020 года. Изобретатели: Пала Джон, Диксон Роберт.

Текст электронный <https://worldwide.espacenet.com/patent/my-espacenet>

2. Патент RU 225 921 U1 Газоанализатор стационарный взрывозащищённый с защитой от фальсификации результатов измерений, СПК G01N 27/00 (2024.01). Опубликовано 14.05.2024 Бюл. №14 / Дарчук Максим Константинович (RU), Поморцев Алексей Андреевич (RU), Седельников Владимир Евгеньевич (RU) 10с, 3 ил.; Патентообладатель(и): Общество с ограниченной ответственностью "Современные технические решения" (ООО"СТР") (RU). Текст электронный
<https://patents.google.com/patent/RU225921U1/ru>

3. Приказ от 8 декабря 2020 г. N 506. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности. «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт». 145 с. Текст электронный
<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=437999&ysclid=mqkkhwbyd845874870>

Получено: 27.05.2026

Рекомендовал к опубликованию канд. техн. наук Безбородов В.А.

UDC 622.831

**G. B. TYNDA, head of department,
O. G. BOLTUNOV, head of laboratory,
V. V. ZUSHINSKAYA, head of the sector,
S. I. TOLOSHNY, senior research worker,
L. A. ROMENSKAYA, research worker; GBU MAKNI, Makeyevka**

ON THE NEED TO DEVELOP TOOLS FOR ASSESSING THE EMERGENCY CONDITION OF PIPELINES DEGASSING SYSTEMS

The need for creating a device that monitors and stores the parameters of the gas environment in a degassing pipeline, allowing for the simultaneous measurement of several parameters, such as the volumetric content of methane, carbon dioxide, carbon monoxide, the temperature of the gas mixture, and its humidity, is substantiated.

Keywords: degassing system, emergency situation, gas environment, control mod, the parameters are controlled, control device.

УДК 622.862:621.395.4

Д.Н. ВУСТЯК, студент; ФГБОУ ВО «ДОННТУ», г. Донецк,

Н.Ф. ВУСТЯК, зав. лаб.,

Н.Л. МУСАТОВА, ученый секретарь; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

О БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Рассмотрена возможность использования технологии беспроводной связи для построения систем позиционирования горнорабочих, транспортных средств и роботизированных платформ в подземных выработках угольных шахт. Показано преимущество ZigBee перед альтернативными беспроводными технологиями и сформулированы практические рекомендации для ее внедрения.

Ключевые слова: угольная шахта, беспроводная локализация, мониторинг, сенсорная сеть, подземные выработки, mesh-топология.

При авариях в угольных шахтах нарушается связь с горнорабочими и отсутствует оперативная информация об их местонахождении, затрудняющая своевременную эвакуацию пострадавших. Традиционные системы позиционирования решают проблему не полностью, поскольку они подвержены механическим повреждениям, трудно масштабированные в разветвленных выработках, а их прокладка и обслуживание требует больших финансовых затрат. Обеспечить непрерывный мониторинг беспроводные технологии потенциально способны, однако подземная среда накладывает жесткие ограничения вследствие сильного затухания сигнала, разветвленности выработок, наличия электромагнитных помех от горного оборудования, а также требований взрывобезопасности [1].

Актуальность работы обусловлена высокой аварийностью в угольной отрасли, отсутствием надежного непрерывного позиционирования стационарных и мобильных объектов, недостаточной эффективностью проводных систем.

Известные системы позиционирования не учитывают реальную конфигурацию выработок в шахтах и уровень электромагнитных помех от отечественного горно-шахтного оборудования.

Цель работы – экспериментально обосновать возможность использования беспроводной технологии для мониторинга местоположения мобильных и стационарных объектов в подземных выработках угольных шахт.

Для экспериментальных исследований использовался стенд, имитирующий подземную горную выработку и уровни радиопомех в ней. В ходе проведения экспериментов решались следующие задачи:

- провести сравнительный анализ беспроводной технологии, например, ZigBee, и альтернативных технологий;
- разработать систему мониторинга мест расположения ZigBee трансиверов в выработках;
- оценить точность локализации трансиверов в разработанной системе;
- сформулировать практические рекомендации для реализации системы.

В результате проведенных исследований впервые для угольных шахт Донбасса экспериментально определены коэффициенты затухания радиосигнала ZigBee (2,4 ГГц) с учетом реальной геометрии выработок и уровня помех. Полученные значения коэффициента затухания n в шахте от 2,9 до 3,8 дБ/м отличаются от приведенных в зарубежных источниках: от 2,5 до 4,5 [2, 3]. Предложена и экспериментально проверена модифицированная трилатерационная модель системы с весовыми коэффициентами, позволяющая снизить погрешность позиционирования от 18% до 22 %.

Разработана система позиционирования для определения координат, состоящая из RSSI– трилатерации и фильтра Калмана. Эта система была адаптирована для выработок угольных шахт [4, 5].

В результате эксперимента с использованием трансиверов, получены оптимальные параметры позиционирования контролируемого объекта: при использовании только трилатерации – 1,9 м, и после использования трилатерации и фильтра Калмана – 1,4 м.

Горные выработки представляют собой сложную среду для распространения радиоволн. Основные факторы, влияющие на канал связи: ограниченное сечение выработки, высокое затухание сигнала, электромагнитные помехи от горного оборудования, разветвленность выработок. Для диапазона частот 2,4 ГГц дальность связи в шахте составляет 50–120 м.

В табл. 1 приведено сравнение технологии ZigBee с основными альтернативными технологиями на основе [2, 3, 5, 6]. Анализ таблицы показал, что ZigBee оптимально сочетает низкое энергопотребление, высокую точность и низкую стоимость.

Для расчета параметров создаваемой системы использован метод анализа сигнала RSSI (d) от нескольких трансиверов и получена математическая модель его затухания в зависимости от расстояния между трансиверами:

$$\text{RSSI}(d) = \text{RSSI}(d_0) - 10 \cdot n \cdot \lg(d/d_0) + X_\sigma,$$

где n – коэффициент затухания сигнала; для шахты от 2,5 до 4,5дБ/м;
 X_σ – Гауссова величина с нулевым математическим ожиданием.

Таблица 1

Сравнение беспроводных технологий для локализации в угольных шахтах

Параметр	ZigBee	Wi-Fi	BLE	UWB
Энергопотребление, мА	20–40	100–300	10–30	50–100
Дальность LOS в шахте, м	50–120	30–70	20–40	30–50
Точность локализации, м	2–5	3–8	3–6	0,1–0,5
Самоорганизация сети	да	нет	огранич.	нет
Стоимость модуля, руб.	500–1500	1000–3000	400–1200	3000–8000

Для определения координат трансиверов необходимо использовать: трилатерацию, фильтр Калмана и учитывать невозможность получения данных о трансивере [7].

Для мониторинга стационарных и подвижных объектов в горных выработках на объектах устанавливаются трансиверы.

Система позиционирования содержит:

- трансиверы, в качестве которых могут использоваться ZigBee-модули, акселерометры, кнопки SOS. Питание трансиверов осуществляется от батарее;
- трансиверы с функцией ZigBee Router, установленные в горных выработках с шагом 50 м. Питание системы осуществляется от шахтной сети или резервного аккумулятора;
- информационные шлюзы и сервер, выполняющие сбор данных, вычисление координат;
- устройство для автоматического перестроения маршрутов при отказе одного из трансиверов.

Система позиционирования состоит из модулей ZigBee CC2530, четырех трансиверов, расположенных на отметках 0, 50, 100, 150 м. Для измерения уровня сигнала трансивера его перемещали с шагом 10 м. В табл. 2 представлены результаты измерений.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

Измерено фактически, м	Теоретически вычислено, м	Ошибка, м	После фильтра Калмана, м
10	11,2	1,2	1,0
20	21,8	1,8	1,4
30	31,5	1,5	1,2
40	42,1	2,1	1,6
50	52,3	2,3	1,7
60	58,4	1,6	1,3
70	72,0	2,0	1,5
80	78,2	1,8	1,4
90	92,5	2,5	1,8
100	98,7	1,3	1,1
110	113,1	3,1	2,0
120	118,5	1,5	1,2
130	132,8	2,8	1,9
140	138,2	1,8	1,4
150	152,0	2,0	1,5

На рисунке представлены графики погрешности позиционирования: верхний график при использовании трилатерации, нижний – при использовании трилатерации и фильтра Калмана.

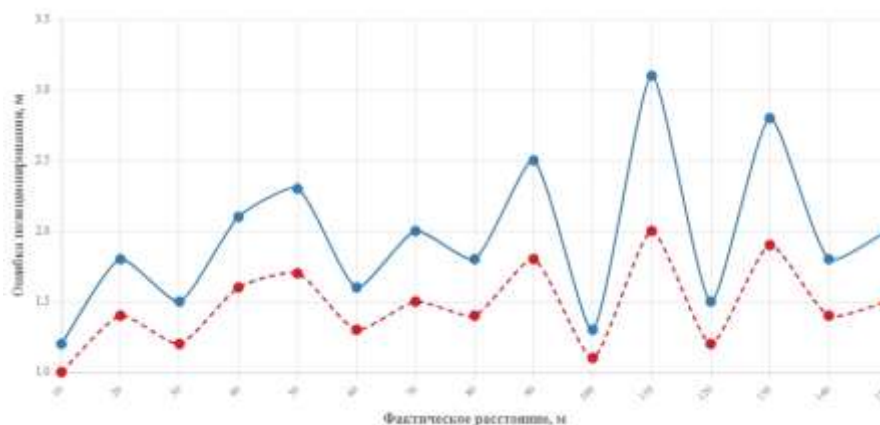


Рисунок – Графики погрешности позиционирования
до и после фильтра Калмана

ВЫВОДЫ

Экспериментально подтверждена возможность использования предложенной системы для позиционирования людей и техники в угольных шахтах, которая позволит модернизировать всю систему промышленной безопасности шахт.

Результаты работы будут использованы для автоматизации информационной поддержки горных работ и поиска людей в завалах с использованием беспилотных летательных аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Forooshani A.E. A survey of wireless communications and propagation modeling in underground mines / A.E. Forooshani, S. Bashir, D.G. Michelson, S. Noghianian // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2013. – Vol. 15, No. 4. – P. 1524–1545. – DOI: 10.1109/SURV.2013.031413.00126.
2. Wang J. Weighted centroid localization algorithm based on RSSI for underground mines / J. Wang, P. Urriza, Y. Han, D. Cabric // 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC). – Montreal, QC, Canada, 2017. – P. 1-6. – DOI: 10.1109/PIMRC.2017.8292745.
3. Li M. Underground coal mine personnel positioning system based on ZigBee and improved RSSI algorithm / M. Li, Y. Liu // Journal of Sensors. – 2019. – Vol. 2019. – Article ID 2978952. – 9 p. – DOI: 10.1155/2019/2978952.
4. Gholami M. An improved RSSI-based localization algorithm for underground mining environments / M. Gholami, N. Cai, R.W. Brennan // 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). – Toronto, ON, Canada, 2020. – P. 4094-4099. – DOI: 10.1109/SMC42975.2020.9283401.
5. Bottiglierio A. ZigBee-based positioning system for underground mining / A. Bottiglierio, S. Milani, B. Pralio, L.M. Reyneri // Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). – Seville, Spain, 2015. – P. 2854-2859. – DOI: 10.1109/ICIT.2015.7125460.
6. Sarkar A. ZigBee based wireless sensor network for underground coal mine monitoring / A. Sarkar, M. Singh, V. Nath // 2017 International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix). – Jaipur, India, 2017. – P. 642-647. – DOI: 10.1109/COMPTELIX.2017.8004047.

Получено: 29.04.26

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Безбородов В.А.

UDC 622.862:621.395.4

D. N. VUSTYAK, *student, FGBOU VO DONNTU, Donetsk,*
N. F. VUSTYAK, *head of laboratory,*
N. L. MUSATOVA, *scientific secretary; GBU MAKNI, Makeyevka*

WIRELESS LOCALIYATION OF MOBILE OBJECTS IN COAL MINES

In this research paper the possibility has been considered of utilization of wireless communication technology for the purpose of generation of the system of localization of mine workers, transport facilities and robot platforms in underground workings of coal mines. The advantage of ZigBee over the alternative wireless technologies is illustrated; practical recommendations for its implementation are formulated.

Keywords: coal mine, wireless localization, monitoring, sensor network, underground workings, mesh-topology.

УДК 621.316.925

Р.А. ПАРХОМЕНКО, зав. лаб.,
И.П. ГОРОШКО, зав. отд.,
А.Ю. ГЛАДКОВ, канд. техн. наук, зав. лаб.,
В.В. ДИДЕНКО, канд. техн. наук, зав. лаб.,
С.В. БОНДАРЕНКО, техник; ГБУ «МАКНИИ», г. Макеевка

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ МЕЖФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Предложен способ обнаружения межфазного короткого замыкания в трехфазных сетях с изолированной нейтралью. В нормальном режиме формируют равноотстоящую последовательность временных событий с интервалом $T/12 \approx 1,67$ мс. Диагностическим признаком межфазного короткого замыкания является нарушение этой последовательности. Аналитически обосновано временное смещение этих событий при КЗ.

Ключевые слова: межфазное короткое замыкание, изолированная нейтраль, знаковый импульс пары токов, экстремум синусоиды, сверхбыстрая защита, время обнаружения.

Трехфазные сети переменного тока с изолированной нейтралью широко используются на горных предприятиях, нефтехимических и металлургических объектах. Одним из наиболее тяжелых видов повреждения в таких сетях является межфазное короткое замыкание (МФЗ), при котором ток в контуре повреждения превышает номинальный от 7 до 15 раз. Эти токи представляют угрозу, как для силовых кабелей, так и для полупроводниковых коммутирующих устройств: термические нагрузки на них достигают предельно допустимых значений в пределах 10 мс [1].

Традиционные максимальные токовые защиты и токовые отсечки обеспечивают времена срабатывания от 20 до 100 мс [2], что является недостаточным для защиты тиристорных пускателей и преобразователей частоты с ограниченным тепловым импульсом I^2t . Это обуславливает актуальность разработки методов обнаружения МФЗ при времени реакции до 10 мс.

Способы быстрого обнаружения МФЗ можно разделить на несколько групп.

Амплитудные методы основаны на превышении пороговых значений токов или их разностей [2]. Их быстроедействие ограничено временем нарастания тока до порогового уровня – обычно от 5 до 10 мс.

Обнаружение МФЗ дифференцированием тока (di/dt) [3] обеспечивается менее, чем за 2 мс, однако дифференцирование сигнала, что при наличии высокочастотных помех в кабельных сетях существенно снижает помехоустойчивость.

Методы, основанные на анализе симметричных составляющих [4], требуют обработки данных за не менее одного периода 20 мс и потому не обеспечивают требуемого быстродействия.

Цель работы – теоретическое обоснование и оценка нового метода обнаружения МФЗ в трехфазных сетях с изолированной нейтралью.

Предложен способ знаковых импульсов пар токов фаз (ЗИП) и экстремумов синусоид (ЭКС), а также определение диапазона времени обнаружения МФЗ.

В симметричной трехфазной сети мгновенные значения токов:

$$I_A = I_m \cdot \sin(\omega t), \quad I_B = I_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \quad I_C = I_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right), \quad (1)$$

где I_m – амплитуда тока нагрузки;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота;

t – время определения мгновенного значения тока;

$f = 50$ Гц.

Для обнаружения МФЗ введем дискретный сигнал $S(k, m)$ – знаковый импульс пары токов фаз k и m :

$$S(k, m)(t) = 1, \quad \text{если } \operatorname{sgn} I_k(t) = \operatorname{sgn} I_m(t); \quad 0 - \text{иначе.} \quad (2)$$

Знаковый импульс $S(k, m)$ принимает значение единицы тогда, когда токи I_k и I_m имеют одинаковый знак – оба положительны или оба отрицательны. Переключение сигнала $S(k, m)$ происходит в момент прохождения одного из токов пары через нулевое значение – именно тогда совпадение знаков сменяется на противоположное. Для трехфазной системы формируются три знаковых канала: $S(A, B)$, $S(A, C)$, $S(B, C)$.

Физически момент переключения $S(k, m)$ совпадает с нулевым переходом одного из токов пары, то есть с моментом изменения его направления.

Канал экстремумов ЭКС- k фиксирует момент достижения током I_k локального максимума или минимума (условие $\frac{dI_k}{dt} = 0$). Три канала экстремумов каждой фазы: ЭКС-А, ЭКС-В, ЭКС-С совместно дают шесть экстремумов за период T , чередующихся с нулевыми переходами знаковых каналов с интервалом $T/12$.

На основании текущих данных канала ЗИП и канала ЭКС формируется объединенный сигнал ЗИП+ЭКС. При этом нулевой переход одного из токов пары (0→1) переводит объединенный сигнал в активное состояние $HIGH = 1$, а достижение током I_k экстремума (ЭКС) переводит объединенный сигнал в нулевое состояние $LOW = 0$.

В результате в нормальном режиме объединенный сигнал представляет собой прямоугольный меандр с постоянным периодом следования событий:

$$\tau_n = T/12 = 1/(12f) \approx 1,667 \text{ мс.} \quad (3)$$

Структура нормального режима показана на рис. 1.

Токи поврежденных фаз при МФЗ между фазами А и В:

$$I'_{A(t)} = I_A(t) + I_{K3(t)}, \quad I'_{B(t)} = I_B(t) - I_{K3(t)}, \quad I'_{C(t)} = I_C(t), \quad (4)$$

где

$$I_{K3(t)} = I_{K3} \cdot [\sin(\omega t - \delta - \varphi_{K3}) - \sin(\alpha - \delta - \varphi_{K3}) \cdot e^{\{-\frac{t-t_{K3}}{\tau}\}}], \quad t \geq t_{K3}, \quad (5)$$

где $I_{K3} = K_{K3} \cdot I_m$ – амплитуда тока КЗ, А;

$\delta = \pi/6$ – сдвиг ЭДС контура, рад;

φ_{K3} – угол импеданса контура, рад;

$\tau = \frac{\tan(\varphi_{K3})}{\omega}$ – постоянная времени, с;

α – угол возникновения КЗ, рад

Для шахтных кабелей КГЭШ по ГОСТ 28249-93 [5] принято $\varphi_{K3} = 30^\circ$.

Смещение нулевого перехода тока I'_A в установившемся режиме получено путем приведения суммы синусоидальных составляющих к единой синусоиде и определения ее фазового сдвига относительно нормального нулевого перехода (по теореме сложения синусов одной частоты [6]):

$$\Delta t = (1/\omega) \cdot \arctg[K_{K3} \cdot \sin(\delta + \varphi_{K3}) / (1 + K_{K3} \cdot \cos(\delta + \varphi_{K3}))], \quad (6)$$

При $K_{K3} = 8$, $\varphi_{K3} = 30^\circ$: $\Delta t \approx 3,01 \text{ мс.}$

Относительную величину допустимого отклонения периода следования фаз $\delta_{\text{доп}}$, учитывающую нестабильность частоты сети, несимметрию нагрузки принимаем равной 5%.

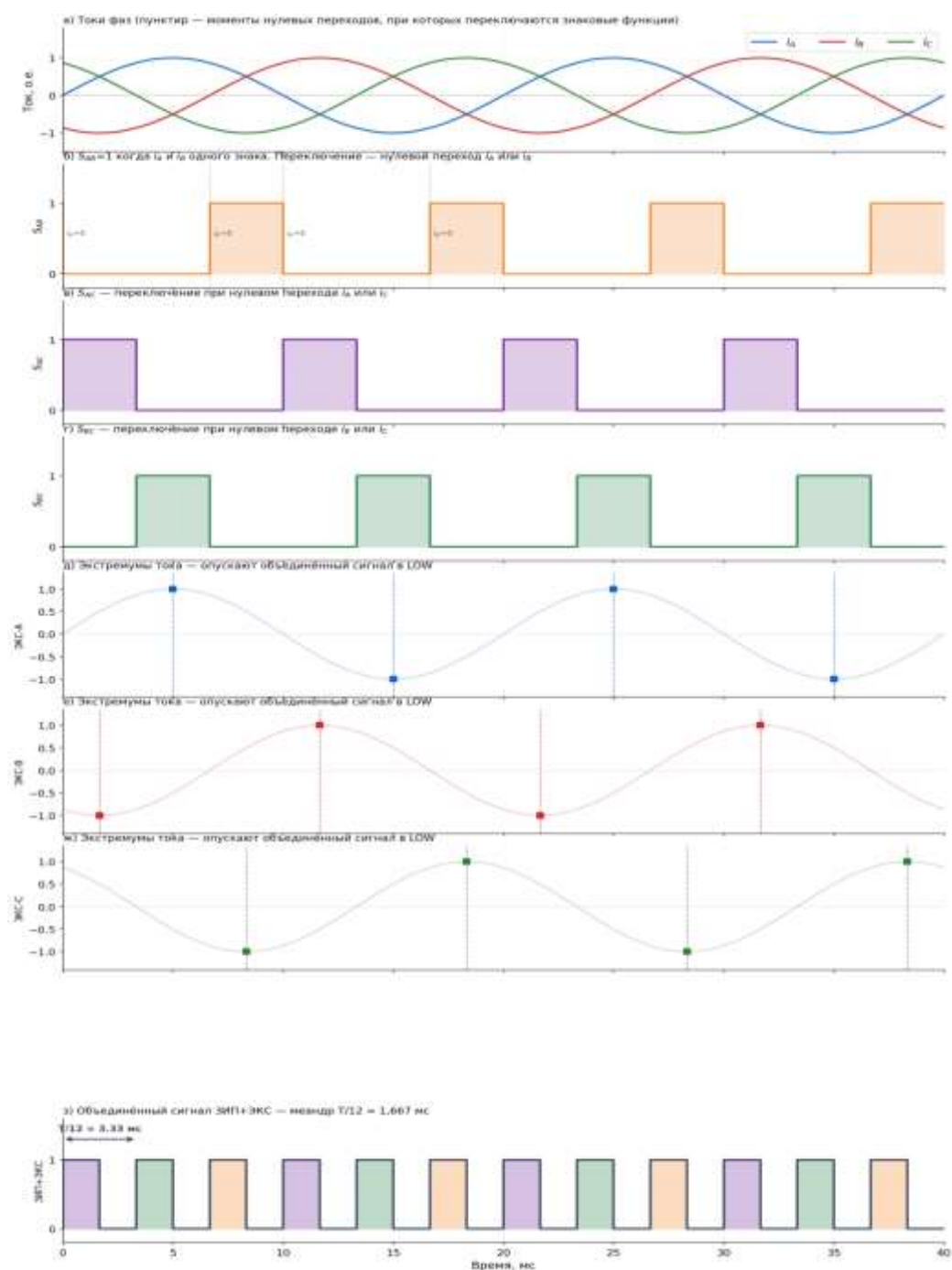


Рис. 1. Нормальный режим работы сети:

- а) токи фаз с вертикальными отметками нулевых переходов; б–г) знаковые импульсы $S(AB)$, $S(AC)$, $S(BC)$ (переключение — нулевой переход одного из токов); д–ж) экстремумы ЭКС-А, ЭКС-В, ЭКС-С; з) объединенный сигнал ЗИП+ЭКС (меандр $T/12 = 1,667$ мс)

Авторами предложен алгоритм, который отслеживает интервал между последовательными событиями потока ЗИП+ЭКС и сравнивает его с нормальным значением $\tau_n = \frac{T}{12}$ с допуском δ :

$$\tau_n \cdot (1 - \delta) \leq \Delta t_i \leq \tau_n \cdot (1 + \delta), \quad (7)$$

где Δt_i – интервал между i и предшествующим событием потока ЗИП+ЭКС;

δ – относительный допуск на нестабильность моментов нулевых переходов токов (принято $\delta = 0,05$).

При этом установлены следующие критерии аномальных событий:

– критерий аномалии «опережение»: событие пришло раньше нижней границы:

$$\Delta t_i < \tau_n \cdot (1 - \delta) \text{ – аномалия «опережение»}. \quad (8)$$

– критерий аномалии «запаздывание»: событие не пришло к верхней границе:

$$\Delta t_i > \tau_n \cdot (1 + \delta) \text{ – аномалия «запаздывание»} \quad (9)$$

(фиксируется по истечении времени допуска).

Порядок работы алгоритма следующий. Точкой отсчета служит предпоследнее событие потока ЗИП+ЭКС перед $t_{кз}$, что позволяет обнаружить нарушение непосредственно в последнем доаварийном интервале.

При нарушении условия (7) фиксируется аномалия по условию (8) или (9). При выполнении (7) – ожидание продолжается от момента текущего события. При запаздывании: время срабатывания сдвигается ровно на τ_n – каждый пропущенный временной интервал является самостоятельной аномалией. При фиксации двух аномалий после $t_{кз}$ фиксируется факт МФЗ и формируется команда на отключение. При этом время обнаружения $t_{обн}$:

$$t_{обн} = t - t_{кз}, \quad (10)$$

где t – момент регистрации второй аномалии.

Графическая интерпретация предложенного алгоритма приведена на рис.2.

Для оценки времени обнаружения МФЗ было проведено численное моделирование для 360 значений α при $K_{кз} = 8, \varphi_{кз} = 30^\circ, \delta = 5\%$ (рис. 3).

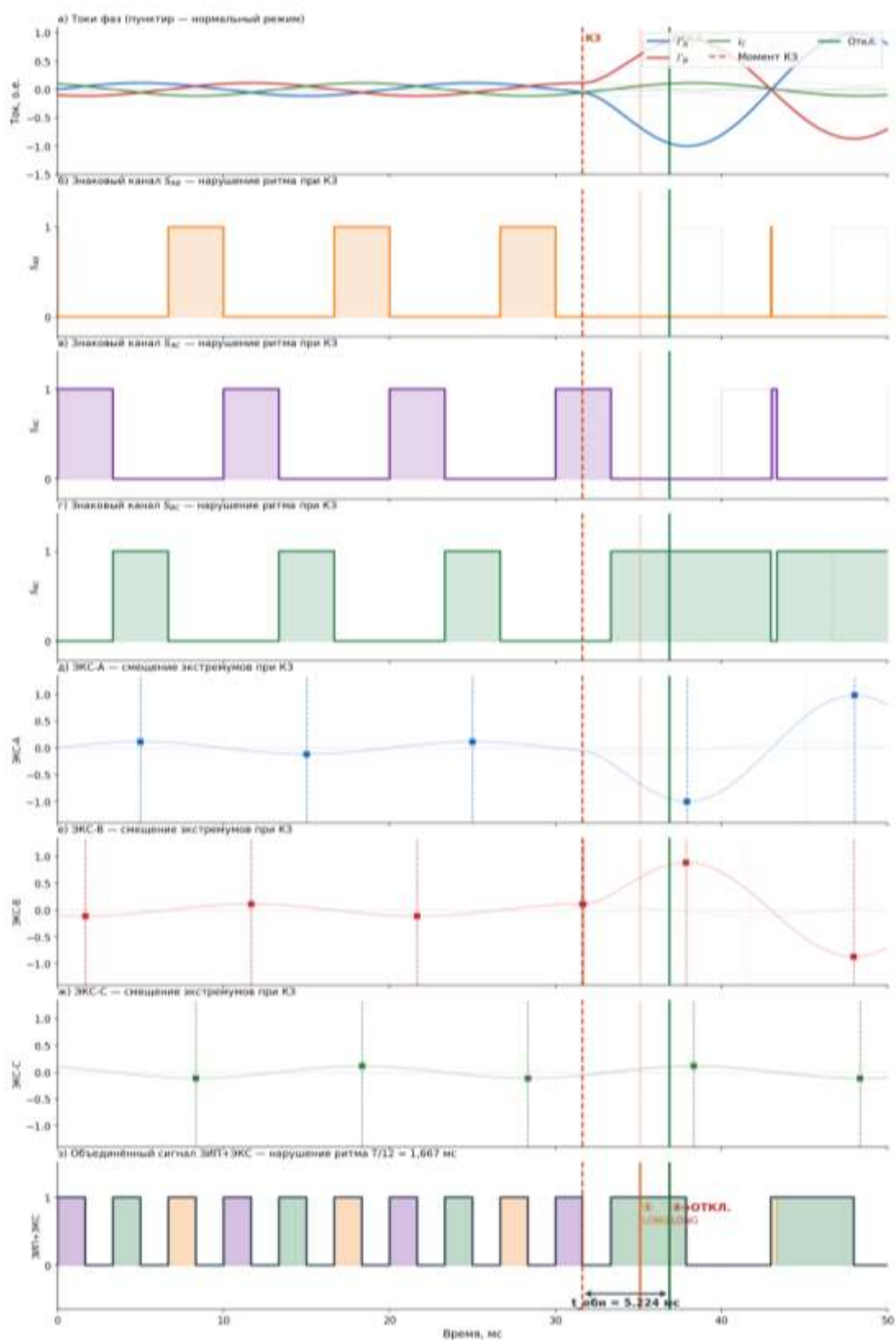


Рис. 2. Алгоритм обнаружения МФЗ

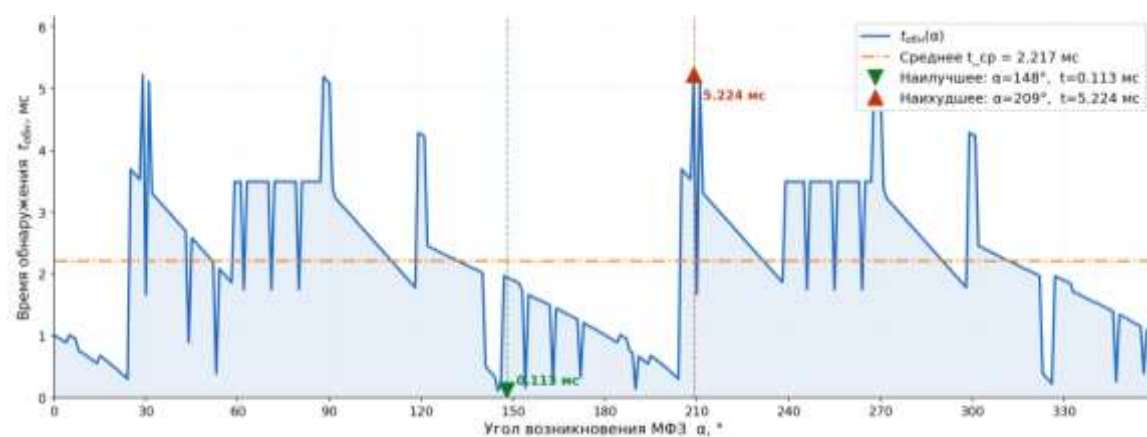


Рис. 3. Зависимость времени обнаружения $t_{обн}$ от угла α возникновения МФЗ

В результате моделирования установлено, что алгоритм позволяет обнаруживать МФЗ при всех значениях угла α . Минимальное время обнаружения составляет 0,113 мс, а максимальное – 5,224 мс.

ВЫВОДЫ

Предложен метод сверхбыстрого обнаружения МФЗ в трехфазных сетях с изолированной нейтралью – метод знаковых импульсов пар токов фаз и экстремумов синусоид. В нормальном режиме шесть каналов – три знаковых и три экстремальных образуют равноотстоящую последовательность событий с интервалом $T/12 \approx 1,67$ мс. При МФЗ смещение токов поврежденных фаз, обусловленное геометрическим сдвигом $\delta=30^\circ$ тока КЗ, нарушает эту периодичность, что служит информативным признаком повреждения.

Численным моделированием получено максимальное и минимальное время обнаружения МФЗ, равное 5,224 мс и 0,622 мс соответственно.

Алгоритм обнаружения ЗИП+ЭКС не использует дифференцирования токовых сигналов и не требует измерения напряжений, что обуславливает его высокую помехоустойчивость в условиях шахтных кабельных сетей. Совместное использование разнотипных каналов исключает ложные срабатывания при всех значениях угла возникновения МФЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрификация горного производства : учебник для вузов : в 2 т. Т. 2 / А. В. Ляхомский [и др.] ; под ред. Л. А. Пучкова, Г. Г. Пивняка. – Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 595 с. – ISBN 978-5-7418-0453-7. – Текст : непосредственный.

2. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения : учебник для вузов / В. А. Андреев. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 2006. – 639 с. – Текст : непосредственный.

3. Пивняк, Г. Г. Релейная защита электроустановок на открытых гор-ных работах / Г. Г. Пивняк, Ф. П. Шкрабец, Я. С. Горбунов. – Москва : Недра, 1985. – Текст : непосредственный.

4. Ванин, В. К. Релейная защита на элементах вычислительной тех-ники : учеб. пособие для вузов / В. К. Ванин, Г. М. Павлов. – 2-е изд., пере-раб. и доп. – Ленинград: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. – 336 с. – ISBN 5-283-04501-3. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Мето-ды расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – Москва : Издательство стандартов, 1994. – Текст : непосредственный.

6. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электри-ческие цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – Москва : Гардарики, 2002. – 638 с. – Текст : непосредственный.

Получено: 02.06.2026

Рекомендовал к публикации канд. техн. наук Диденко В.П.

UDC 621.316.925

R. A. PARKHOMENKO, head of laboratory,

I. P. GOROSHKO, head of department,

A.Y. GLADKOV, Ph. D. Eng., head of laboratory,

V. V. DIDENKO, Ph. D. Eng., head of laboratory,

S. V. BONDARENKO, technician; GBU MAKNI, Makeyevka

DETECTION OF A SHORT CIRCUIT BETWEEN PHASES IN THREE-PHASE NETWORKS WITH INSULATED NEUTRAL

In this research paper a method has been suggested for detection of a short circuit between phases in three-phases networks with insulated neutral. In normal mode an equal-spaced sequence of time events with $T/12$ interval of ca. 1,67 ms is created. The loss of this sequence is a diagnostic indicator of a short circuit between phases. The temporal shift of these events in case of a short circuit has been analytically justified.

Keywords: short circuit between phases, isolated neutral, sign pulse of a current pair, sinusoidal curve extremum, ultrafast protection, detection time.

УДК 622.86**И.Н. АНДРУСЕНКО, гл. инж. горного отд.;**
ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ», г. Донецк**О РАСЧЕТЕ ВРЕМЕНИ ВЫХОДА ГОРНОРАБОЧИХ ИЗ ЗОНЫ
ЗАДЫМЛЕНИЯ НА СВЕЖУЮ СТРУЮ ВОЗДУХА**

Представлен анализ требований нормативных документов Донецкой Народной Республики и Российской Федерации при расчете времени выхода горнорабочих из зоны задымления на свежую струю воздуха.

Ключевые слова: самоспасатель, задымление, время выхода горнорабочих, расчет, нормативные правовые документы.

Увеличение длины выемочных столбов и глубины отработки в шахтах Донбасса поставило перед горняками проблему спасения при возникновении аварий, приводящих к образованию в горных выработках атмосферы, непригодной для дыхания. В связи с постоянным удлинением маршрутов выхода из зоны аварии часто возникают ситуации, когда время эвакуации превышает суммарное время защитного действия самоспасателя горнорабочего и самоспасателя, взятого в «пункте переключения». Шахты в Донецком регионе, в основном, оснащены самоспасателями ШСС-11, защитное действие которых составляет не менее 50 минут. Попытки увеличить время защитного действия до 90 минут и более привели к увеличению габаритов и массы самоспасателя, что затрудняет его использование.

В ДНР вопросами разработки систем самоспасения горнорабочих занимается ФГКУ «НИИ «Респиратор» МЧС России». Многоступенчатая система самоспасения, разработанная этим институтом, наряду с такими решениями, как самоспасатели, камеры-убежища, «пункты переключения», содержит нормативную и правовую часть. В 2005 году эти решения были изложены в отраслевом стандарте СОУ 10.1-00174102-002-2004 «Система самоспасения шахтеров. Общие требования» [1] и на шахтах Донецкого региона этот стандарт использовался до 2014 года.

После 2014 года в ДНР был принят «Устав по организации и ведению горноспасательных работ Государственной военизированной горноспасательной службой Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», утвержденный Приказом МЧС ДНР 28.12.2015 № 965 [2]. В пункте 3 Приложения 7 к этому нормативному документу указаны время и порядок выхода, включенных в самоспасатели, горнорабочих из зоны аварии.

Расчет времени, согласно документу [2], проводился аналогично отраслевому стандарту [1].

После вхождения ДНР в состав РФ, с 2022 года деятельность угледобывающих предприятий и проектных организаций на территории ДНР осуществляется в соответствии с нормативной правовой базой РФ. В связи с этим, время и порядок выхода из зоны аварии горнорабочих, включенных в самоспасатели, определяется согласно Приложению № 22 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Инструкция по порядку разработки планов ликвидации аварий на угольных шахтах, ознакомления, проведения учебных тревог и учений по ликвидации аварий, плановой практической проверки аварийных вентиляционных режимов, предусмотренных планом ликвидации аварий», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 ноября 2020 г. № 467 [3].

Таким образом, на протяжении 10-летнего периода деятельность угольных предприятий на территории Донецкого региона, в частности по вопросам спасения горнорабочих при авариях, поочередно определяли три нормативных правовых документа.

В связи с этим актуален вопрос обеспечения необходимого времени и порядка выхода горнорабочих из зоны аварии с учетом горно-геологических и горнотехнических особенностей ведения работ на шахтах Донецкого региона.

Цель работы – провести сравнительный анализ ранее действующих и действующих в настоящее время требований нормативных правовых документов при расчете времени выхода горнорабочих из зоны задымления на свежую струю воздуха.

Расчет времени выхода рабочих к свежей струе воздуха по установленным маршрутам производится в следующем порядке. Направление движения – по ходу вентиляционной струи. Сначала весь маршрут следования разбивается на характерные участки, отличающиеся видом выработки (штрек или лава), высотой выработки, углом ее наклона и характером движения (спуск/подъем):

$$L_{\text{общ}} = L_1 + L_2 + L_3 \dots + L_n, \text{ м.} \quad (1)$$

Затем для каждого n -го участка маршрута передвижения определяется время прохождения этого участка по формуле:

$$T_n = L_n / V_n \text{ мин,} \quad (2)$$

где L_n , – длина n -го участка маршрута, м;

V_n – скорость передвижения рабочего, включенного в самоспасатель, по n -му участку, м/мин.

Эта скорость задается табличными значениями нормативных документов [2, 3].

Затем время прохождения рабочими отдельных участков маршрута суммируется:

$$T_{\text{общ}} = T_1 + T_2 + T_3 \dots + T_n, \text{ мин.} \quad (3)$$

Если общее время выхода из зоны задымления превышает время защитного действия изолирующего самоспасателя ШСС-11 ($T_{\text{общ}} > 50$ мин), то необходимо оборудовать пункт переключения на резервные самоспасатели в том месте маршрута, где $T_{\text{общ}} = 50$ мин.

Далее в таком же порядке производится расчет времени движения от места переключения на резервные самоспасатели до места пересечения со свежей струей воздуха.

Схема движения рабочих к свежей струе в задымленной среде, возникшей при пожаре на приводе ленточного конвейера с учетом требований нормативных документов, показана на рисунке [2, 3].

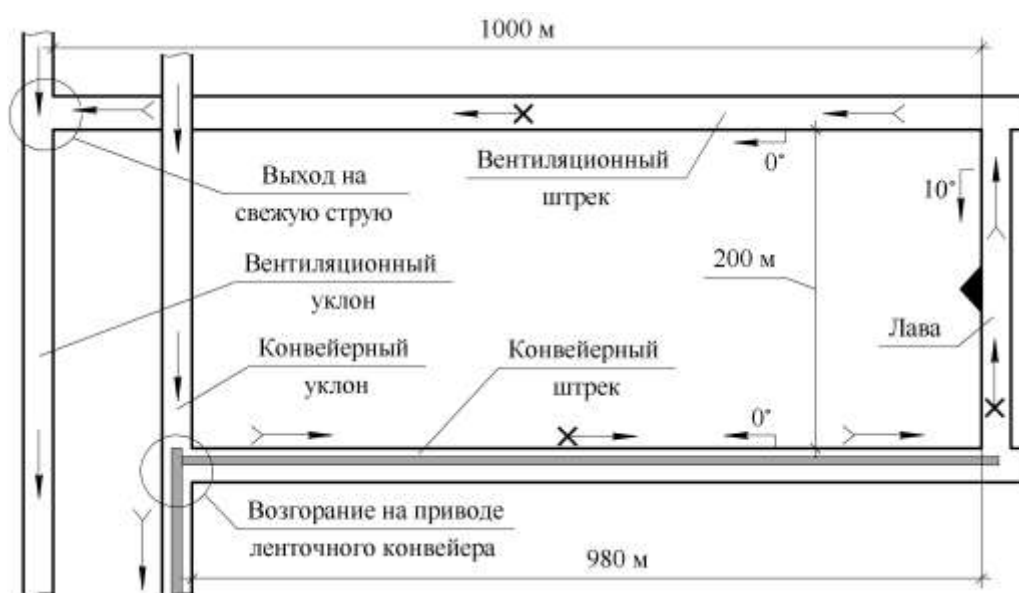


Рисунок – Схема выхода рабочих на свежую струю

- направление свежей струи воздуха;
- >→ направление задымленной струи воздуха;
- ×→ направление движения людей.

Результаты расчетов по формулам 1–3 представлены в таблице, анализ которой показал, что, при одинаковых начальных условиях, расчетное время выхода на свежую струю по российским нормативам [3] укладывается в срок защитного действия изолирующего самоспасателя, а при расчете по нормативам, действующим на территории ДНР до 2022 года [2], – нет.

Таблица 1

Время выхода рабочих на свежую струю
при движении в задымленной среде

Наименование выработки	Направление дви- жения	Угол наклона, град	Длина выра- ботки, м	Скорость движения, м/мин	Время выхода, мин
Расчет по нормативам ДНР, действующим до 2022 года [2]					
Конвейерный штрек	подъем	0	980	45,0	21,8
Лава	подъем	10	200	15,0	13,3
Вентиляционный штрек	спуск	0	1000	45,0	22,2
Всего по маршруту			2180	–	57,3
Расчет по нормативам РФ, действующим после 2022 года [3]					
Конвейерный штрек	подъем	0	980	52,5	18,7
Лава	подъем	10	200	17,5	11,4
Вентиляционный штрек	спуск	0	1000	52,5	19,0
Всего по маршруту			2180	–	49,1

Это связано с тем, что скорость передвижения горнорабочего, включенного в самоспасатель, по нормативам [2] в зависимости от условий, может задаваться одним из двух значений – в незадымленных выработках / в задымленных выработках, а по нормативам [3] – одним средним значением.

Например, в расчетах скорость движения по горизонтальной выработке, в соответствии с [2], принимается 45,0 м/мин при задымлении, в незадымленной выработке, по нормативу, 60,0 м/мин, а в соответствии с российским нормативом [3] – 52,5 м/мин, что, по сути, является среднеарифметической скоростью 45 м/мин и 60 м/мин.

Усреднение скорости передвижения в задымленной среде касается всех типов горных выработок, регламентируемых в документе [3].

Кроме того, в российском нормативном документе [3] не учитываются такие горные выработки, как лавы на пластах с мощностью менее 0,7 м, отрабатываемые в Донецком регионе и учитываемые в нормативном документе [2].

ВЫВОДЫ

Усреднение нормативных показателей при расчетах времени выхода к свежей струе приводит к искусственному завышению скорости передвижения в задымленных выработках и занижению времени пребывания в непригодной для дыхания среде. В результате этого могут быть неправильно намечены места расположения пунктов переключения в резервные самоспасатели, а такие ошибки при расчете времени выхода людей из зоны аварии недопустимы.

Учитывая изложенное, считаем целесообразным использовать расчет времени выхода рабочих из зоны задымления, указанный в нормативном документе [2], действовавшем на территории ДНР до 2022 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СОУ 10.1-00174102-002-2004 Система самоспасения шахтеров. Общие требования. – Киев: Минтопэнерго Украины, 2004. – 26 с.
2. Устав по организации и ведению горноспасательных работ Государственной военизированной горноспасательной службой Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Утвержден Приказом МЧС ДНР 28.12.2015 №965. Портал «Государственная информационная система нормативных правовых актов ДНР». URL: <https://gisnpa-dnr.ru/osajte/https://gisnpa-dnr.ru/npa/0019-965-20151209/>.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по порядку разработки планов ликвидации аварий на угольных шахтах, ознакомления, проведения учебных тревог и учений по ликвидации аварий, плановой практической проверки аварийных вентиляционных режимов, предусмотренных планом ликвидации аварий», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 ноября 2020 г. №467. Электронный банк данных «Нормативно-правовые акты, зарегистрированные в Министерстве Юстиции Российской Федерации». URL: <https://minjust.consultant.ru/files/25180>.

Получено: 14.04.26

Рекомендовала к публикации канд. техн. наук Маренич О.К.

UDC 622.86

**I. N. ANDRUSENKO, *engineer in-chief of mining department;*
GBU DONGIPROSHAKHT, Donetsk**

**CALCULATION OF ESCAPE TIME OF MINE WORKERS
FROM SMOKE CONTAMINATION AREA INTO FRESH AIR**

This research paper presents the analysis of requirements of regulatory documents of the Donetsk People's Republic and the Russian Federation towards calculation of escape time of mine workers from smoke contamination area into fresh air.

Keywords: self-rescue device, smoke contamination, escape time of mine workers, calculation, regulatory documents.

*Способы и средства создания безопасных и
здоровых условий труда в угольных шахтах*

Выпуск № 2 (апрель – июнь) (73) 2026

Учредитель и издатель

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(ГБУ «МАКНИИ»)**

Подписано к печати 22.06.2026. Выход в свет 28.06.2026.

Формат 60 x 84/8. Тираж 50 экз.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 22 Заказ № 30

Гарнитура *Times New Roman*.

Свободная цена

Адрес редакции и издателя: 286132, Донецкая Народная Республика,
г.о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Лихачева, д. 60

Отпечатано на полиграфической базе ГБУ «МАКНИИ»:
286132, Донецкая Народная Республика, г.о. Макеевка, г. Макеевка,
ул. Лихачева, д. 60

Телефон: + 7 (8563) 22-22-18, e-mail: maknii2014@inbox.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ААА № 000203 от 26.06.2018 г.

выдано Министерством информации Донецкой Народной Республики