

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»**

На правах рукописи

Аксенов Захар Владленович

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО
ИСКУССТВЕННЫМ АКУСТИЧЕСКИМ СИГНАЛАМ ДЛЯ УСЛОВИЙ
ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС»**

2.8.6 Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и
горная теплофизика

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой ФизГео
Винников Владимир Александрович

Москва – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД, ПРОГНОЗА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ	11
1.1 Динамика развития угольной промышленности России	11
1.2 Анализ аварийности, связанной с геодинамическими явлениями.....	15
1.3 Анализ производственных показателей угольных шахт АО «СУЭК- Кузбасс» в условиях необходимости проведения прогноза геодинамических явлений существующими традиционными методами.....	20
1.4 Анализ актуальных автоматизированных сейсмических методов контроля за состоянием массива горных пород, подверженного влиянию добычных работ.....	26
1.5 Цель работы и задачи исследования	38
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСКУССТВЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС» И ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЕГО ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	41
2.1 Условия возникновения и параметры искусственного акустического сигнала в массиве горных пород	41
2.2 Регистрация и обработка искусственных акустических сигналов при проведении периодических (локальных) акустических зондирований в горных выработках угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»	45
2.3 Регистрация и обработка искусственных акустических сигналов при проведении непрерывного мониторинга в горных выработках и очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»	53
2.4 Обоснование возможности определения зон интенсивного развития межслоевых деформаций по параметрам ИАС и оценка соответствия результатов акустических зондирований с результатами бурения скважин	60
Выводы по второй главе:.....	64
ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО ИСКУССТВЕННЫМ АКУСТИЧЕСКИМ СИГНАЛАМ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС»	67

3.1 Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам ИАС в зонах повышенного горного давления	69
3.2 Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам ИАС при пересечении передовых горных выработок очистными забоями	76
3.3 Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам ИАС при пересечении очистными забоями сбоек оконтуривающих горных выработок.....	80
3.4 Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам ИАС в зонах влияния геологических нарушений.....	83
Выводы по третьей главе:	96
ГЛАВА 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ ПОСАДКИ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС» ПО ПАРАМЕТРАМ ИСКУССТВЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА.....	99
4.1. Исследование особенностей распределения спектральных характеристик ИАС и динамики развития межслоевых деформаций, возникающих при посадке основной кровли угольного пласта.....	100
4.2. Исследование динамики суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах ИАС на участках посадки основной кровли в целях повышения эффективности прогноза	107
4.3. Разработка прогностического параметра для оценки динамичности посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»	116
Выводы по четвертой главе:	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
ПРИЛОЖЕНИЕ А	128
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В настоящее время регистрируется увеличение темпов и объемов добычи угля в России, в том числе за счет перехода к разработке более глубоких горизонтов, при этом прогнозируется снижение объемов добычи угля открытым способом ввиду планомерного ужесточения экологических требований. Следует отметить, что по мере увеличения глубины разработки и скорости подвигания очистных забоев вследствие применения современного высокопроизводительного очистного и горнопроходческого оборудования многократно возрастает опасность негативного проявления повышенного горного давления и, как следствие, возникновения геодинамических явлений в угольных шахтах. Особую актуальность приобретает необходимость обеспечения контроля за напряженно-деформированным состоянием массива горных пород на угольных шахтах Кузбасса ввиду увеличения средней длины выемочных столбов и очистных забоев, что приводит к значительному осложнению условий ведения горных работ.

Своевременный прогноз негативных геодинамических явлений по-прежнему сопряжен с определенными трудностями в части его реализации в связи с необходимостью детального анализа параметров, определяющих состояние массива горных пород. Соответственно, даже при учете актуальных достижений в части управления горным давлением и контроля техногенной сейсмичности, вопрос совершенствования технологий обеспечения безопасности ведения горных работ остается весьма важным по причине невозможности объективной и своевременной идентификации изменений НДС массива горных пород.

Создание методики мониторинга массива горных пород по параметрам искусственного акустического сигнала в целях прогноза посадки основной кровли в очистных забоях и определения участков деформирования горных выработок призвано обеспечить принятие эффективных технологических решений в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях при

подготовке и отработке выемочных участков, а также поддержании и эксплуатации горных выработок угольных шахт Кузбасса.

В части комплексного обеспечения безопасности ведения горных работ необходимо решать задачи текущего прогноза динамических явлений (в частности, горных ударов) и мониторинга массива горных пород по параметрам искусственного акустического сигнала, возникающего при воздействии горного оборудования на забой в процессе выемки угля. В силу этих причин разработка рационального подхода к анализу и процессу автоматизированной обработки регистрируемых искусственных акустических сигналов для принятия объективных решений по текущему прогнозу динамических явлений, мониторингу НДС массива горных пород и контролю технологических процессов воздействия на угольный пласт является актуальной научной задачей.

Целью диссертационной работы является обоснование и разработка метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород по искусственным акустическим сигналам для прогноза участков посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт и определения участков нарушения эксплуатационного состояния горных выработок.

Идея работы состоит в использовании спектральных характеристик и информативных параметров искусственного акустического сигнала (коэффициента относительных напряжений K , частоты спектрального максимума F и суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E) для контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород, установления местоположения ослабленных межслоевых контактов и оценки интенсивности развития межслоевых деформаций.

Задачи исследования:

1. Провести анализ и систематизацию существующих технических решений и результатов мониторинга геодинамических явлений в шахтных условиях.

2. Исследовать факторы и причины проявления опасных геодинамических явлений в угольных шахтах.

3. Исследовать характер распределения значений искусственных акустических сигналов, возникающих вследствие воздействия горного оборудования на массив, на участках деформирования массива горных пород и горных выработок, а также обрушения пород кровли в условиях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

4. Провести оценку интенсивности развития межслоевых деформаций, возникающих в процессе выемки угля, по распределению спектральных характеристик и параметрам искусственного акустического сигнала.

5. Установить порядок регистрации и обработки искусственных акустических сигналов для контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород в процессе непрерывного ведения очистных работ.

6. Исследовать особенности распределения спектральных характеристик и параметров искусственных акустических сигналов в процессе мониторинга напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород для решения конкретных горно-геологических задач в условиях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

7. Определить порядок проведения мониторинга массива горных пород по параметрам искусственного акустического сигнала для прогнозирования участков посадки основной кровли в очистных забоях и выявления участков деформирования горных выработок.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Выявление участков локальной разгрузки с интенсивным развитием межслоевых деформаций, представляющих наибольшую опасность по

обрушению пород кровли угольного пласта, возможно по динамике изменения коэффициента относительных напряжений K по сравнению с фоновыми значениями, измеряемыми на безопасном участке массива горных пород.

2. Определение местоположения межслоевого контакта с максимальным ослаблением относительно угольного пласта на участках сдвижения пород и их обрушения в горных выработках можно производить по наибольшей амплитуде резонансной частоты искусственного акустического сигнала, что позволяет отследить динамику процесса посадки основной кровли при движении очистного забоя.

3. В целях оценки динамичности процесса посадки основной кровли возможно применение прогностического параметра $P_{кр}$, равного отношению нормированных значений коэффициента относительных напряжений K и суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E , вычисляемых в каждом цикле выемки угля, что позволяет определять участки посадки основной кровли в соответствии с установленными пороговыми значениями, превышение которых свидетельствует об опасности протекания данного процесса, выраженной фактами повышенных газовыделений в горных выработках и их деформированием.

Научная новизна:

1. получены новые экспериментальные данные о физико-механических свойствах и параметрах напряженно-деформированного состояния массива горных пород в области влияния горных работ в условиях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»;

2. установлены закономерности распределения относительных напряжений и интенсивности развития межслоевых деформаций в лавах угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс», позволяющие на основе параметров искусственных акустических сигналов осуществлять прогноз участков посадки пород основной кровли и оценку степени опасности возникающих при этом динамических явлений;

3. обоснована возможность применения метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород по параметрам искусственного акустического сигнала для определения участков относительной разгрузки напряжений с интенсивным развитием межслоевых деформаций, представляющих наибольшую опасность по обрушению пород основной кровли угольного пласта и аварийному состоянию горных выработок;

4. установлены соответствующие пороговые значения параметров искусственного акустического сигнала и методические приемы их получения для определения участков предполагаемой посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»;

5. динамика процесса посадки основной кровли при движении очистного забоя отражается в спектрах искусственного акустического сигнала: по наибольшей амплитуде резонансной частоты определяется расстояние до межслоевого контакта с максимальным ослаблением на участках сдвижения пород и их обрушения (процесс посадки пород основной кровли) в угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»;

6. использование суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах в качестве одного из параметров искусственного акустического сигнала для оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород и динамики посадки основной кровли позволяет определять интенсивность развития межслоевых деформаций.

Методы исследования: в работе использован комплексный метод исследований, основанный на анализе и обобщении данных горно-геологических и горнотехнических условий разработки угольных месторождений Кузбасса подземным способом; оценке напряженно-деформированного состояния массива горных пород и исследованиях механических свойств горных пород периодическими акустическими наблюдениями и непрерывным акустическим мониторингом на объектах

ведения горных работ; компьютерной обработке, анализе и интерпретации данных, полученных по результатам шахтного акустического мониторинга.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

- представительным объемом экспериментальных исследований, проведенных на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» (4 шахты, 5 пластов);
- сохраняющейся стабильностью значений установленных параметров искусственного акустического сигнала;
- использованием при проведении экспериментальных исследований аппаратного обеспечения с высокими метрологическими характеристиками и апробированного программного обеспечения;
- удовлетворительной сходимостью прогнозируемых теоретически и полученных экспериментально характеристик и параметров искусственных акустических сигналов, возникающих в процессе ведения горных работ.

Практическая значимость работы заключается:

- в использовании разработанных научно-обоснованных решений по контролю за напряженно-деформированным состоянием массива горных пород и прогнозу посадки основной кровли на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»;
- во включении результатов исследований в корпоративный нормативный документ, имеющий практическое применение на 3-х угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» (Стандарт компании АО «СУЭК» - «Руководство по применению системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ)»).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях и форумах: на научном семинаре ИПКОН РАН «Передовые технологии и методики прогноза динамических явлений» (г. Москва, 2019), III Международной научно-практической конференции «Безопасность технологических процессов и производств» (г. Екатеринбург,

2021); научных семинарах кафедры «Физических процессов горного производства и геоконтроля» Горного института НИТУ «МИСиС» (Москва, 2019-2021 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 3 печатных работы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России и зарегистрированных в базе данных Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Работа изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц и 54 рисунка. Библиография включает 139 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность профессору кафедры ФизГео Горного института НИТУ «МИСиС» директору НИЦ «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии» Горного института НИТУ «МИСиС», доктору технических наук - Виталию Андреевичу Еременко и сотрудникам АО «СУЭК» - кандидату физико-математических наук Виктору Николаевичу Костеренко и кандидату геолого-минералогических наук Геннадию Ивановичу Колчину.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД, ПРОГНОЗА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

1.1 Динамика развития угольной промышленности России

Российская Федерация входит в число мировых лидеров-производителей и экспортеров угля [1,2]. На основе итоговых показателей работы угольной промышленности за 2020 год, Россия обеспечивает около 5% от общего объема мировой угледобычи, что соответствует шестому месту в списке крупнейших стран-производителей угля.

При этом Российская Федерация входит в лидирующую тройку стран-экспортеров, занимая около 15 % международного рынка [3].

По состоянию на 01.01.2021 на территории России функционируют 179 предприятий угольной промышленности, со следующим распределением по способам добычи: 58 подземных шахт (32% от общего количества предприятий), обеспечивающих добычу в 102.9 млн. тонн угля, и 121 угольный разрез (68%), объемы добычи которых составили 298.7 млн. тонн угля [4].

Как отмечается в Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1582-р (далее – Программа развития), угольная отрасль, по итогам реализованных структурных реформ, демонстрирует полноценную адаптацию к рынку, а производство и реализация конечной продукции обеспечивается частными предприятиями, осуществляющими финансирование инвестиционных проектов посредством собственных инвестиций и привлекаемых средств [5].

Вышеуказанные показатели во многом достигнуты ввиду планомерного стабильного развития угольной промышленности, наблюдаемого в течение

последних 10 лет, и, в частности, традиционных центров угледобычи, среди которых особое место занимает Кузнецкий угольный бассейн (рис. 1.1).

Данный регион - крупнейший поставщик угля среди угледобывающих субъектов страны, производственные показатели которого составляют 55% от общего объема добытого угля, при этом 72% коксующихся углей также добываются в Кузнецком бассейне [6].

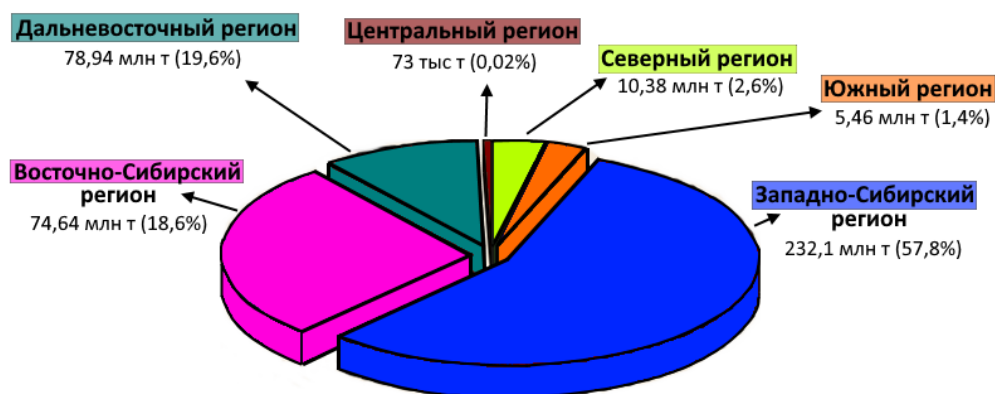


Рисунок 1.1 – Показатели добычи угля по основным угледобывающим регионам РФ по итогам 2020 года (млн. т)

По состоянию на конец 2020 года, наблюдается значительное увеличение спроса на угольную продукцию. Отмечается планомерное увеличение добычи угля в России и, в том числе, за счет перехода к разработке более глубоких горизонтов (рис 1.2).

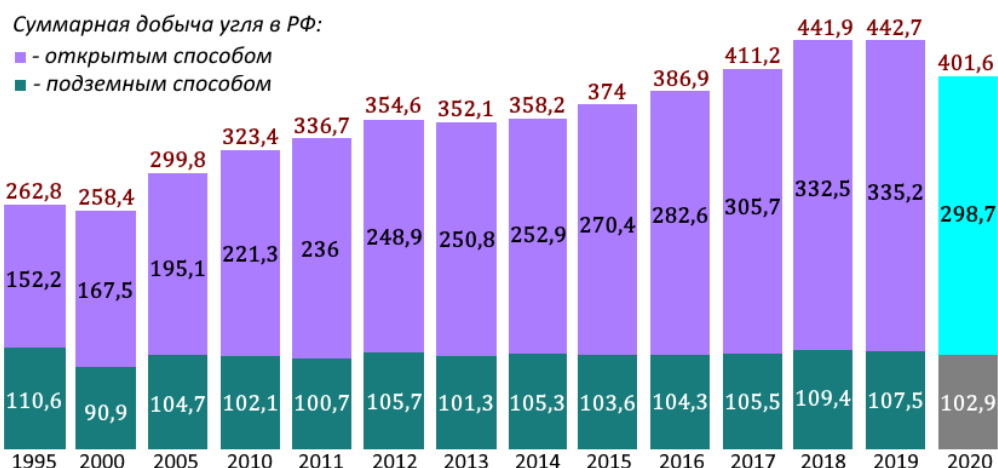


Рисунок 1.2 – Суммарная добыча угля в РФ открытым и подземным способами за период с 1995 по 2020 гг. (млн. т)

Так за период с 2000 по 2020 годы суммарная добыча угля в России возросла более чем на 58 % или на 150 млн тонн. На рисунке 1.2 представлено

распределение суммарных объемов добычи угля в РФ открытым и подземным способами за период с 1995 по 2020 гг.

Несмотря на вышеуказанную положительную динамику, нельзя не отметить глобальные вызовы, в значительной степени определяющие динамику развития угольной промышленности России, среди которых особого внимания заслуживают следующие системные проблемы:

- неэффективная реализация потенциала увеличения производительности предприятий;
- сохраняющиеся риски возникновения аварий и инцидентов техногенного характера;
- низкие показатели использования технологических мощностей высокопроизводительного горного оборудования;
- отработка запасов в ухудшающихся горно-геологических условиях и, в том числе, на сверхкатегорийных по метану и опасных по внезапным выбросам шахтах.

В работе [7] отмечается, что более 50% аварий в техногенной сфере обусловлены влиянием человеческого фактора, поэтому решающую роль в вопросе совершенствования технологий ведения горных работ играет интеграция систем непрерывного и объективного контроля параметров безопасности технологических процессов.

Отдельно стоит отметить увеличение средней длины выемочных столбов и очистных забоев на угольных шахтах Кузбасса в целях увеличения производительности [8], что приводит к осложнению условий подземной разработки в части негативного влияния горного давления и проявлений геодинамических явлений (далее – ГДЯ). На примере угольных шахт АО «СУЭК», на рисунке 1.3 представлена динамика увеличения средней длины лавы (м) и выемочного столба (км).

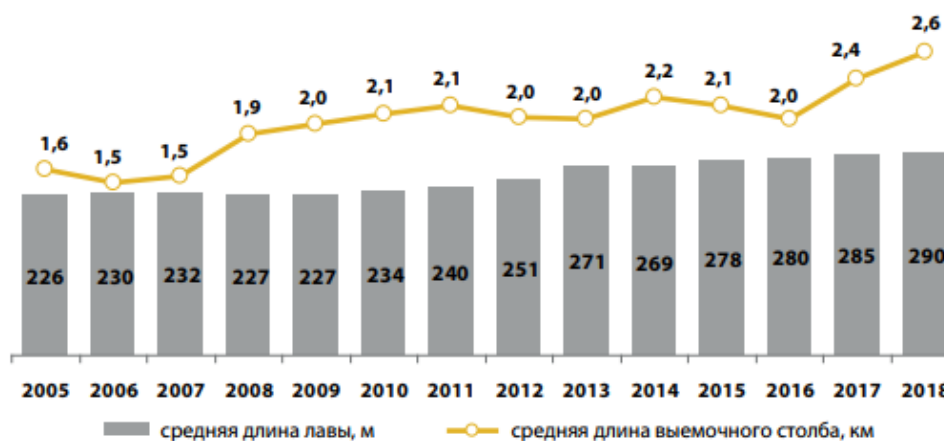


Рисунок 1.3 – Динамика изменения средней протяженности лавы (м) и выемочного столба (км) на угольных шахтах АО «СУЭК»

По состоянию на 2021 год в числе лидеров среди угледобывающих компаний находится АО «СУЭК» - крупнейшее угольное объединение России и единственная отечественная компания, относящаяся к мировым лидерам рынка по объемам добычи угля. Компания обеспечивает около 30 % поставок энергетического угля на внутреннем рынке и 25% от объемов общего угольного экспорта страны [9].

Данный статус обеспечивается высоким уровнем интегрируемых технологий, а также использованием современного оборудования, что обусловило выбор места проведения исследований.

На рисунке 1.4 представлены показатели добычи наиболее крупных производителей угля в РФ по итогам работы в 2020 году.



Рисунок 1.4 – Показатели добычи компаний-лидеров по производству угля в РФ по итогам работы в 2020 году (тыс. т)

При этом, Кузбасским филиалом АО «СУЭК» является АО «СУЭК-Кузбасс» (далее – компания), в состав которого входят 9 угольных шахт, 2 угольных разреза, 4 обогатительные фабрики и 15 сервисных центров, базирующихся в двух регионах Кузбасса – Ленинск-Кузнецкий и Киселевск.

Общая протяженность подземных горных выработок угольных шахт компании составляет 437 км при действующих 9 очистных забоев и 49 проходческих забоев.

Ежегодное плановое увеличение добычи угля, достигаемое компанией, также сопряжено с переходом к отработке более глубоких горизонтов, что приводит к вероятности возникновения негативных проявлений ГДЯ, а именно: горных ударов, внезапных выбросов и обрушений [10-13].

1.2 Анализ аварийности, связанной с геодинамическими явлениями

Безопасность подземной разработки угольных пластов во многом предопределяется своевременным и объективным определением необходимости проведения профилактических мероприятий, направленных на предупреждение ГДЯ в шахтах [14, 15].

В соответствии с терминологией, предлагаемой авторами словаря «Горное дело», динамическое явление представляет собой «внезапно возникающие и протекающие с высокой скоростью последствия проявления горного давления и движения внутрипородных газов и жидкостей, которые могут выражаться горными ударами, внезапными выбросами угля, газов и породы, внезапными обрушениям пород кровли и т.д.» [16].

Рабочая группа по углю Европейской экономической комиссии ООН при непосредственном участии российских ученых также разработала международную классификацию ГДЯ в угольных шахтах [17]. В ее основу положено деление протекающих в шахтах ГДЯ на четыре класса, представленные горными ударами, выбросами газа, выбросами угля (породы) и отдельными горно-тектоническими явлениями, причина возникновения которых заключается в изменении динамики напряженно-деформированного состояния (далее - НДС) породного массива и в изменении энергии сейсмических волн.

Стоит отметить, что в независимости от используемой терминологии, фактическое возникновение ГДЯ в угольных шахтах нарушает технологические процессы добычи угля и, как правило, приводит к авариям с

тяжелыми последствиями. Именно поэтому обеспечение непрерывности мониторинга ГДЯ имеет существенное и, зачастую, жизненно важное значение в части обеспечения промышленной безопасности.

Анализ аварий на угольных шахтах основан на выявлении причин произошедшего, выделении актуальных проблем и определении возможных путей их решения, при этом необходима идентификация признаков, являющихся характерными для крупных аварий [18,19].

Если рассматривать крупные аварии, произошедшие на угольных шахтах в современной истории России, и в особенности те из них, причины которых связаны с протеканием ГДЯ, то особое внимание (в части подтверждения критической важности непрерывного и объективного контроля за состоянием массива) должно быть уделено следующим авариям:

- Взрыв метана и угольной пыли, произошедший 01.12.1992 в лаве 3-0-1-6 шахты «Им. Л.Д. Шевякова» в процессе работы комбайна по выемке угля. Среди причин, установленных по результатам расследования правительственной комиссии, выделяются: образование местных скоплений метана в пачке угля, залегающей в кровле и верхней части лавы в зоне влияния геологического нарушения, а также выброс метана из выработанного пространства по причине интенсивного обрушения основной кровли;

- Взрыв метана, произошедший 30.03.2011 на шахте «Распадская» в процессе отработки лавы 4-10-23 с высокими показателями подвигания забоя (10-15 м/сут). Правительственная комиссия, расследовавшая причины данной аварии, установила, что в процессе отработки вышеуказанной лавы произошла задержка в посадке основной кровли, а также выдавливание метана из выработанного пространства, воспламенение которого вызвано коротким замыканием поврежденного в результате обрушения пород кабеля;

- Взрыв метана и угольной пыли, произошедший 10.04.2004 на шахте «Тайжина» в процессе отработки лавы 1-1-5-5 при скоростном подвигании очистного забоя. Одна из причин произошедшего: обрушение основной кровли на значительной площади с выбросом метана в лаву.

Отдельно стоит отметить, что возбужденное уголовное дело по факту аварии на шахте «Тайжина» по ст. 216 УК РФ «нарушение правил безопасности при проведении горных работ, повлекшее по неосторожности смерть двух и более лиц» в дальнейшем было прекращено, поскольку в результате следственных мероприятий не было установлено нарушений правил ведения горных работ, а причиной аварии явилась совокупность факторов природного характера, которые «спровоцировали» обрушение пород кровли.

Именно данная показательная ситуация, наряду с тем фактом, что вышеуказанные шахты расположены в границах Кузнецкого бассейна, подтверждают актуальность целей данного исследования, одна из которых заключается в обосновании и разработке метода контроля НДС призабойной части массива горных пород для прогноза участков посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт данного региона.

В целом, за период с 1991 по 2015 года на угольных шахтах России произошло 396 обрушений, в результате которых пострадали 528 человека, из них 330 – смертельно [20,21].

На рисунке 1.5 представлена диаграмма, отражающая общее распределение связанных с ГДЯ аварий, произошедших за последнее десятилетие (2011–2021 гг.). При 34 авариях за указанных период преобладающее место занимают обрушения пород (34 инцидента), далее по количеству – внезапные выбросы (7 инцидентов).



Рисунок 1.5 – Распределение аварий, связанных с ГДЯ, за период с 2011 по 2021 года на угольных шахтах РФ: по вертикали – количество аварий; по горизонтали – временная шкала

В общей структуре аварий, происходивших на угольных шахтах страны за период с 2000 по 2021 года, доля ГДЯ составляет - 17%, к которым, в рамках данной статистики, отнесены: горные удары (1,5%), внезапные выбросы (2,5%) и обрушения (13 %). Как можно видеть на рисунке 1.6, первое и второе места по числу аварий за указанный период занимают пожары (33%) и взрывы (26%). Однако, учитывая установленные причины крупных аварий на вышеуказанных шахтах, стоит отметить, что именно обрушения пород основной кровли могут становиться иницирующим фактором для возникновения как пожаров, так и взрывов в горных выработках угольных шахт.

В работах [22, 23] также отмечается, что в условиях перехода к отработке угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями на угольных предприятиях страны требуется внедрение эффективных методов контроля геомеханического состояния массива в части обеспечения устойчивости объектов ведения горных работ.

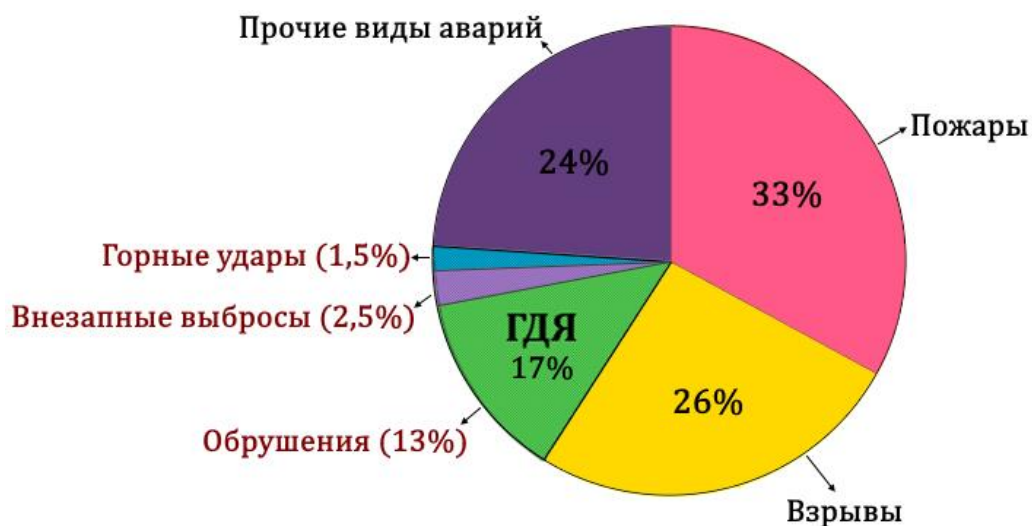


Рисунок 1.6 – Доля ГДЯ в общем количестве произошедших аварий на угольных шахтах (2000–2021 гг.) в процентном выражении

При этом, как показано на рисунке 1.7, региональное распределение аварий, связанных с ГДЯ, на угольных шахтах России за период с 2011 по 2021 года, указывает на то, что самым аварийным (по числу инцидентов) регионом является Кемеровская область (Кузбасс).

Статистика летальных случаев и травматизма также представлена на рисунке 1.8.

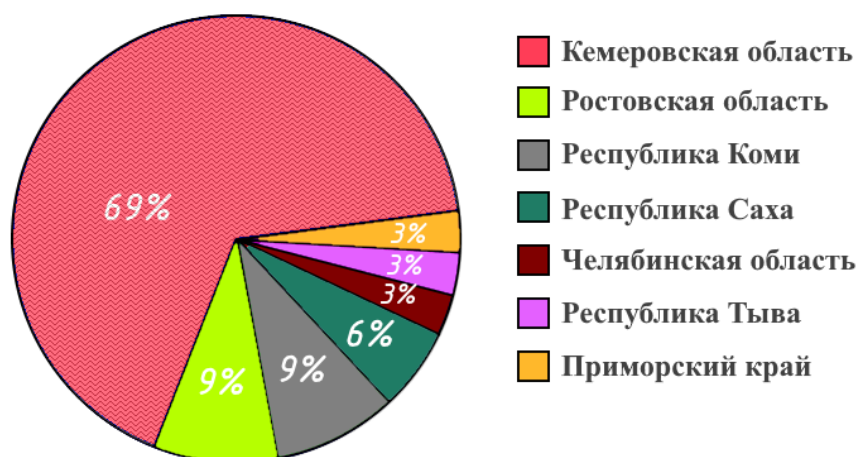


Рисунок 1.7 – Региональное распределение аварий, связанных с ГДЯ, за период с 2011 по 2021 года на угольных шахтах РФ в процентном выражении



Рисунок 1.8 – Статистика летальных случаев и травматизма за период с 2011 по 2021 года на угольных шахтах РФ

Соответственно, даже несмотря на значительную положительную динамику в части сокращения количества инцидентов, связанных с обрушениями в горных выработках, и несмотря на планомерное внедрение современных технологических решений в процессы по выемке угля при использовании высокопроизводительного горного оборудования, на угольных шахтах Кузбасса вопрос обеспечения непрерывного контроля за состоянием призабойной части массива не теряет своей актуальности ввиду ухудшения горно-геологических условий ведения работ, связанных с переходом к отработке нижележащих горизонтов

1.3 Анализ производственных показателей угольных шахт

АО «СУЭК-Кузбасс» в условиях необходимости проведения прогноза геодинамических явлений существующими традиционными методами

Техническое оснащение преобладающего числа отечественных угольных предприятий позволяет достигать значительных показателей в таких аспектах ведения горных работ, как проведение подготовительных горных выработок и подвигание очистного забоя.

Подобная задача актуальна и для угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс», поскольку потенциальные показатели на основе технической оснащенности шахт компании составляют – до 20 м/сут. проходки и добыча - до 1 млн тонн угля в месяц.

Однако, достижение вышеуказанных показателей возможно только при условии отсутствия ряда «сдерживающих» факторов, к которым в том числе

относится реакция массива горных пород на техногенное воздействие и, как следствие, возникновение различных ГДЯ.

Еще одним «сдерживающим» фактором для условий шахт АО «СУЭК-Кузбасс» является угрожаемость по горным ударам для большинства отрабатываемых пластов с глубины 150 м.

Соответственно, по требованиям действующего Приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ от 21.08.2017 № 327 «Об утверждении Руководства по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах» и Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ от 15.08.2016 № 339, необходимо выполнять прогноз ударо- и выбросоопасности существующими методами, что приводит к длительной остановке производственных процессов [24].

В работе [25] представлены особенности формирования выбросоопасного состояния угольного массива, а также условия возникновения внезапных выбросов в процессе операций по выемке угля.

Периодичность прогноза удароопасности на пластах, склонных к горным ударам, определяется при согласовании с ВНИМИ и утверждается техническим директором – главным инженером угольной шахты. Текущий прогноз удароопасности проводится по изменению выхода буровой мелочи при бурении шпуров диаметром 43 мм.

В *очистных забоях* угольных пластов, склонных к горным ударам, первое контрольное определение удароопасности проводится непосредственно в разрезной печи и в прилегающих выработках перед началом очистных работ. В дальнейшем прогноз удароопасности осуществляется через интервалы,

определяемые техническим директором-главным инженером шахты с учетом шага посадки основной кровли, но *не более чем через 25 м.*

В *подготовительных забоях* первое определение удароопасности проводится после вскрытия пласта или на участках засечки. В проводимых горных выработках за пределами зоны влияния очистных работ и ранее сформированных выработанных пространств интервалы между контрольными замерами *не должны превышать 75 метров.*

В *сложных горно-геологических условиях*, к которым относятся: ведение горных работ в зоне повышенного горного давления (далее – зона ПГД), отработка целиков, ведение горных работ в зонах бифуркации угольных пластов, а также в ситуациях, когда по результатам предыдущих замеров установлена категория «опасно», контроль удароопасности в очистных и подготовительных горных выработках должен проводиться *не менее чем через 2 м подвигания забоя.*

Прогноз выбросоопасности реализуется посредством:

- локального прогноза – периодического измерения прочности угольных пачек (*через 5-10 м подвигания забоя*) при использовании прочностнометра;
- текущего прогноза – бурения контрольных шпуров по потенциально выбросоопасной пачке угля или самой слабой пачке в потенциально выбросоопасной совокупности пачек. Бурение контрольного шпура осуществляется с остановками после окончания каждого интервала и проведения замеров начальной скорости газовыделения. Длина первого интервала составляет 1.5 м, последующих – 1 м. Бурение прогнозных шпуров осуществляется *через каждые 4 м подвигания забоя.*

На рисунке 1.9 представлен пример схемы прогноза горных ударов в выемочном участке 25-94 пласта «Поленовский» шахты «Им. С.М. Кирова» (АО «СУЭК-Кузбасс»).

Следовательно, показатели работы очистного забоя в условиях отсутствия необходимости проведения прогноза:

Длительность цикла по выемке угля с учетом подготовительных операций - $\sum T_{ц.в.у} = 90 + 10 = 100$ мин.

Количество циклов по выемке угля в сутки - $N_{ц.в.у} = \frac{20 \cdot 60}{100} = 12$ циклов.

Суточная добыча - $A_{сут} = 12 \cdot 624 = 7488$ т/сут.

При этом, показатели работы очистного забоя при необходимости бурения прогнозных шпуров через каждые 2 м (зона ПГД по всей длине выемочного столба), составят:

Длительность двух циклов по выемке угля с учетом прогноза -
 $\sum T'_{ц.в.у} = \sum T_{ц.в.у} + T_{\text{прогноза}} = 100 \cdot 2 + 6 \cdot 20 = 320$ мин.

Количество циклов по выемке угля в сутки - $N_{ц.в.у} = \frac{20 \cdot 60}{320} = 3.75$ цикла (т.е. около 8 циклов по добыче в сутки при прогнозе в первую смену).

Суточная добыча - $A_{сут} = 8 \cdot 624 = 4992$ т/сут.

Таким образом, бурение 6 прогнозных шпуров в зоне ПГД в 300-метровой лаве приводит к потере до 2500 тонн угля в сутки.

На рисунке 1.10 представлено распределение объемов ведения горных работ в условиях необходимости проведения прогноза на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».

а)



б)

Подготовительные забои

(в % от суммарной длины всех подготовительных выработок)

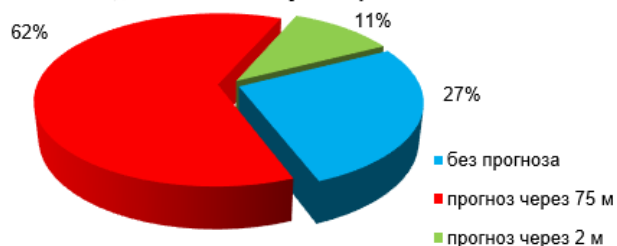


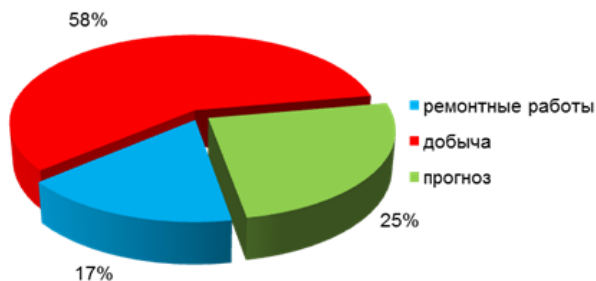
Рисунок 1.10 – Распределение объемов ведения горных работ в условиях необходимости проведения прогноза на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»: а) – в очистных забоях; б) – в подготовительных забоях

На рисунке 1.11 представлено распределение суточного времени на непосредственную работу по добыче угля и на проведение выработки при необходимости проведения прогноза горных ударов через каждые 2 м подвигания забоя на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».

а)

Очистные забои

(с прогнозом через 2 м в зоне ПГД)



б)

Подготовительные забои

(с прогнозом через 2 м в зоне ПГД)

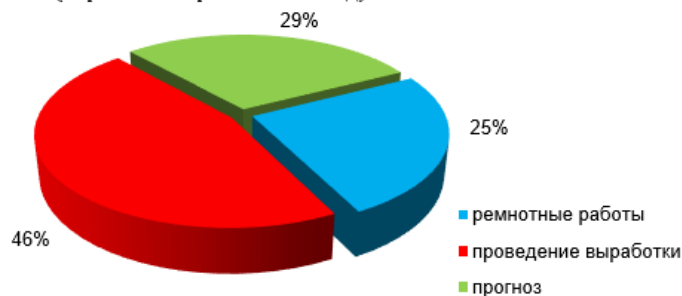


Рисунок 1.11 – Распределение суточного времени на проведение операций по выемке угля и проходке при необходимости прогноза горных ударов через каждые 2 м подвигания забоя на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»: а) – в очистных забоях; б) – в подготовительных забоях

Решением данной актуальной задачи (исключение ограничений ввиду необходимости прогноза ГДЯ), которая позволит увеличить темпы подвигания забоев и нагрузку на выемочные участки, является применение систем автоматизированного прогноза динамических явлений, позволяющих не прерывать основные технологические процессы посредством непрерывного контроля за состоянием массива по искусственным акустическим сигналам (далее – ИАС).

1.4 Анализ актуальных автоматизированных сейсмических методов контроля за состоянием массива горных пород, подверженного влиянию добычных работ

Проанализированные факторы и показатели подтверждают тенденцию ведения горных работ в современных условиях, выраженную в нарастающем увеличении темпов реализации добычных операций, что само по себе определяет необходимость сокращения временных затрат на производство различных сопутствующих вспомогательных работ. Достижение данных задач играет решающую роль в обеспечении конкурентоспособности в условиях текущей экономической ситуации.

В связи с этим, приоритетное значение для поддержания приемлемых темпов добычи угля и дальнейшего развития любого угледобывающего предприятия необходимо уделять объективной и своевременной оценке состояния массива горных пород.

Стоит отметить, что значительный вклад в исследования динамики напряженно-деформированного состояния массива горных пород и причин возникновения геодинамических явлений в угольных шахтах внесли видные советские и российские ученые: В.В. Ржевский, М.В. Курленя, А.Д. Рубан, В.В. Ходот, В.Н. Опарин, В.Л. Шкуратник, И.М. Петухов, А.М. Линьков, В.В. Иванов, В.С. Зыков, К.Х. Ли, Ю.М. Филатов, В.В. Семенцов, Д.В. Яковлев, С.Н. Мулёв, С.М. Простов, С.В. Цирель, А.С. Вознесенский, В.Н. Захаров, О.Н. Малинникова, Е.Б. Черепецкая, А.Г. Гликман, А.И. Бобров, А.С. Батугин и др.

На примере показателей деятельности предприятий АО «СУЭК» очевидна необходимость в интеграции современных средств и методов автоматизированного контроля за состоянием массива горных пород. Так, в период с 2005 по 2020 года, общие объемы продажи угля и других энергетических продуктов предприятиями АО «СУЭК» увеличились на 31% при постоянном ухудшении условий отработки запасов (рис. 1.12).

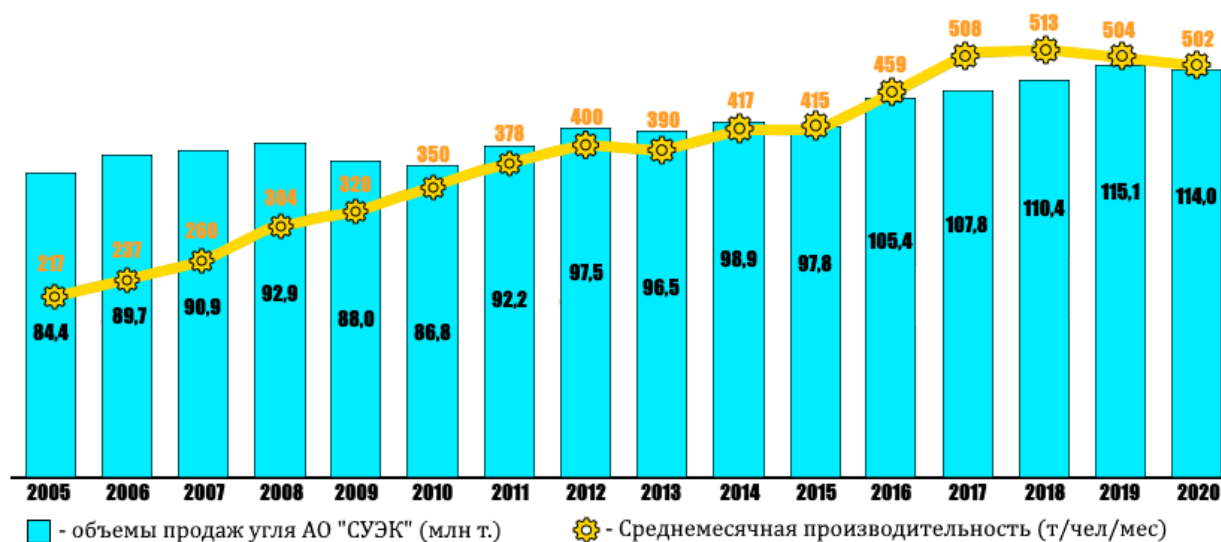


Рисунок 1.12 – Объемы продаж угля (млн.т) и показатель производительности труда (т/чел/мес) на предприятиях АО «СУЭК» за период с 2005 по 2020 года

В частности, при ведении горных работ на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» выделяются следующие осложняющие факторы:

- необходимость в проведении мероприятий по дегазации угольных пластов в условиях увеличения их газообильности;
- негативное влияние зон повышенного горного давления, в том числе на трудоемкость операций, связанных с перемонтажом очистных забоев;
- увеличение протяженности поддерживаемых горных выработок.

Решение задачи по обеспечению своевременной и объективной оценки состояния массива горных пород может быть достигнуто путем применения автоматизированных методов получения информации и ее дальнейшего качественного анализа при минимизации влияния субъективизма на конечный результат.

Наибольшее развитие по направлению обеспечения высокого уровня автоматизации контроля за состоянием массива горных пород получили

методы, основанные на использовании адаптированного аппаратно-программного обеспечения при исследовании природных сейсмических явлений, обусловленных перераспределением действующих напряжений в массиве горных пород и их локальной концентрацией. Стоит отметить характер актуальной сейсмической обстановки в Кузбассе и ее взаимосвязи с частотой возникновения негативных геодинамических явлений [27].

Отдельно следует отметить перспективность метода контроля за состоянием массива горных пород, предусматривающего регистрацию и обработку ИАС, возникающих при воздействии горного оборудования на призабойную часть массива.

Этапы реализации и совершенствования методов оценки НДС массива горных пород на основе сейсмоакустических исследований могут быть представлены в следующей хронологии.

Начиная с 1960-х годов для задач прогноза выбросоопасности разработан метод оценки НДС массива горных пород, основанный на регистрации импульсов акустической эмиссии массива [28]. Основу данного прогноза составляла взаимосвязь ГДЯ с интенсивностью трещинообразования в зонах повышенных напряжений. Недостатки – отсутствие автоматизации в процессах выделения акустических импульсов, и, соответственно, максимальное влияние субъективного фактора на результаты исследования.

Существенное развитие акустических методов оценки и контроля состояния призабойной части массива горных пород пришлось на 1980-е года, преимущественно на базе Государственного Макеевского научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ). Основу проводимых исследований составляла обработка и анализ ИАС, возникновение которого в массиве вызвано воздействием горного оборудования и механизмов в процессе выемки угля или при принудительном локальном возбуждении сигнала. Многочисленные исследования позволили установить взаимосвязь параметров ИАС и НДС массива горных пород, а также реализовать ряд практических способов оценки

и контроля за его состоянием, среди которых: определение величины зоны разгрузки и положения максимума опорного давления при бурении контрольных скважин, определение расстояния до выбросоопасного пласта, автоматизированный контроль выбросоопасности, прогноз прорыва метана из почвы горной выработки и т.д. [29]. Реализация вышеуказанных задач осуществлялась посредством регистрации и обработки ИАС аппаратным комплексом АПСС 1 с рабочим диапазоном от 20 до 3500 Гц, в процессе работы которого упругие колебания, возникновение которых обусловлено воздействием горного оборудования на призабойную часть массива, преобразовывались в электрический сигнал звуковой частоты и транслировались на «поверхность» для дальнейшей обработки и анализа. К преимуществам данной методики стоит отнести именно достоверность и минимизацию влияния субъективного фактора.

В 1990-х годах на основе анализа амплитудно-частотной характеристики акустического сигнала, возникающего в массиве горных пород под воздействием добычного оборудования, также разрабатывался метод прогноза выбросоопасности при использовании аппаратуры АК-1 для вычисления соответствующего коэффициента выбросоопасности [30, 31]. Несовершенство системы выбора рабочих уставок, предусматривающей непрерывное вмешательство разработчика, не позволило обеспечить практическую применимость данного метода прогноза.

Стоит отметить, что исходя из общей классификации методов оценки НДС массива горных пород, рассматриваемые сейсмоакустические исследования относятся к группе геофизических методов, подгруппе – звукометрические методы (рис. 1.13) [32].



Рисунок 1.13 – Классификация существующих методов оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород

Актуальность и необходимость реализации непрерывных наблюдений, позволяющих выделять информативные параметры о состоянии массива, также отмечена в работах [33-36], поскольку существующие традиционные методы оценки НДС массива характеризуются своей трудоемкостью и финансовой непривлекательностью для угольных компаний ввиду своей дороговизны.

С этой точки зрения, неразрушающие геофизические методы, предусматривающие непрерывный мониторинг НДС массива горных пород, выделяются своей перспективностью, в частности спектрально-акустический метод, поскольку обеспечивают возможность оценки максимумов действующих напряжений, достигаемых непосредственно в процессе ведения горных работ [37-40].

На современном уровне интеграция систем автоматизированного контроля за состоянием массива горных пород на угольных предприятиях РФ призвана обеспечить достижение следующих целей:

- повышение уровня безопасности ведения горных работ в части прогноза и предотвращения ГДЯ;
- соответствие требованиям действующих нормативных документов;

- исключение необходимости в остановке добычных и проходческих забоев для проведения операций прогноза ГДЯ;
- снижение общей стоимости проведения операций вышеуказанного прогноза;
- недопустимость влияния человеческого фактора на реализацию мероприятий по прогнозу ГДЯ;
- своевременное и целесообразное применение превентивных мер по предотвращению ГДЯ и контроль эффективности реализованных мероприятий;
- получение сведений о локации сейсмических явлений в зоне влияния горных работ;
- анализ влияния добычных работ на сейсмическую активность в массиве и на поверхности.

Именно выполнение перечисленных целей обеспечит условия для рентабельного функционирования предприятий и бескомпромиссной безопасности труда горнорабочих, поскольку только посредством автоматизации процесса контроля за состоянием массива возможно получать оперативные сведения о НДС массива в каждой отдельной горной выработке в режиме реального времени.

Среди основных современных систем автоматизированного мониторинга состояния массива горных пород, интегрированных в комплексную систему безопасности отечественных угледобывающих предприятий, целесообразно отметить следующие:

- система «GITS» (разработчик – АО «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург);
- система акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений («САКСМ») (разработчик – ООО МНТЛ «РИВАС», г. Москва);
- регистрационно-диагностический комплекс РДК «РЭМИ-3» (разработчик - ИГД СО РАН им. Н.А. Чинакала, г. Новосибирск);
- система МГСК (разработчик – ООО «ЦПИИ ИПКОН», г. Москва);

- комплекс «ANGEL-M» (разработчик – АО «ВНИМИ»);
- система управления Марко «Robotic Mining».

Стоит отметить, что вышеперечисленные комплексы также внедрены на угледобывающих предприятиях АО «СУЭК-Кузбасс» и в различном объемном соотношении задействованы в наблюдениях, результаты которых в режиме реального времени транслируются диспетчерам единой службы мониторинга за состоянием массива горных пород предприятий компании, функционирующей на базе «Единого Диспетчерско-Аналитического Центра» АО «СУЭК-Кузбасс» (г. Ленинск-Кузнецкий) [41, 42].

В основу разработки аппаратного комплекса «ANGEL-M» положена регистрация естественного импульсного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), изменения характеристик сигнала которого связывают с изменениями напряженного состояния массива, интенсивностью газовыделения и трещинообразования [43-45].

Детальное исследование характеристик ЕЭМИ в процессе деформирования различных материалов в лабораторных условиях и посредством шахтных экспериментов проводились видными отечественными учеными, среди которых А.А. Воробьев, М.В. Курленя, В.Н. Опарин, В.В. Ржевский, В.Л. Шкуратник, А.С. Вознесенский, В.М. Проскуряков, В.И. Фрид, А.П. Шабаров, С.Н. Мулёв и др., а также в работах [46-52].

Принцип действия данного комплекса, представленного регистрирующим блоком и приемной электромагнитной антенной, заключается в автоматизированной регистрации сигналов переменного магнитного поля с последующим выделением импульсной составляющей нестационарных сигналов, коррелирующей с естественным излучением горных пород [53]. В качестве результатов измерений формируются характеристики структуры излучения, среди которых средняя амплитуда импульсов, а также показатель поуровневого распределения амплитуд импульсов.

На угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» эксплуатация аппаратного комплекса «ANGEL-M» началась с 2016 года в целях прогноза горных ударов в подготовительных забоях. Некоторые результаты применения данного комплекса представлены в работе [54], одна из задач которой заключалась в локализации опасно нагруженных зон в горных выработках шахты «Им. С.М. Кирова».

Также на угольных шахтах компании для реализации аналогичных задач применяется регистрационно-диагностический комплекс «РЭМИ-3». Основу данного комплекса составляет регистрация сигналов электромагнитного излучения (ЭМИ), которую связывают с процессом трещинообразования, для диагностики и прогноза состояния массива горных пород [55].

Базовые принципы функционирования системы сейсмического мониторинга «GITS» заключаются в идентификации активности сейсмических событий в границах шахтного поля, оценке их энергетической составляющей для выявления удароопасных зон по превышению установленного критического значения, а также в вычислении значений комплексного параметра удароопасности и параметра суммарной деформации. В качестве результатов наблюдений формируются «прогнозные Карты удароопасности», указывающие на локацию сейсмоопасных зон с привязкой по координатам [56]. Детально принципы применения данного аппаратно-программного комплекса и обработки результатов наблюдений рассмотрены в работах [57-60].

Кроме того, в работе [61] отмечаются результаты функционирования системы сейсмического мониторинга GITS в лаве 3-3-1бис шахты АО «Распадская-Коксовая» в условиях интенсивного обрушения пород кровли.

В целом же, результаты детальных исследований в части анализа сейсмической активности массива горных пород, обработки соответствующей информации, а также интеграции системы сейсмомониторинга в

производственных процессы угольных шахт и рудников отражены в работах [62-65].

На угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» система сейсмического контроля «GITS» внедрена в 2011–2012 годах в целях непрерывной оценки сейсмических явлений в зонах их повышенной интенсивности.

Модульная «Многофункциональная геофизическая система контроля геодинамического и газодинамического состояния массива горных пород (МГСК)» также разработана в целях автоматизации процессов контроля за состоянием массива и прогнозирования горных ударов и внезапных выбросов в режиме онлайн [66]. Основу данной системы составляет идентификация опасных условий возникновения горных ударов посредством анализа активности акустической эмиссии массива, амплитудно-частотных характеристик сигнала, геофизической томографии и т.д. [67, 68]. В качестве результатов методами группового учета аргументов и нейросетей строится комплексная модель по наблюдаемым и прогнозируемым параметрам, предназначенная для превентивного прогноза негативных ГДЯ.

В 2013 году на шахте «Им. С.М. Кирова» (АО «СУЭК-Кузбасс») завершились государственные испытания данной системы, и был реализован ее ввод в эксплуатацию на пласте «Болдыревский».

Кроме того, исследования характера распределения параметров акустической эмиссии на объектах шахт АО «СУЭК-Кузбасс» реализовались в 2017 и 2018 годах на основе автоматизированного мониторинга, предусматривающего анализ сейсмоакустической эмиссии массива и конвергенции забоя лавы для оценки степени нагружения угольного пласта в системе управления Марко «Robotic Mining» [69-71].

Базовый функционал «Системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ)» реализуется на основе сопоставления текущих значений параметров спектра ИАС с соответствующими пороговыми значениями, определяемыми на безопасном участке рассматриваемой горной выработки или соседних

выработок отрабатываемого пласта. Данный подход позволяет в автоматизированном режиме решать актуальные горно-геологические задачи в части своевременного выявления опасностей проявления ГДЯ [72]. Среди которых:

- прогноз потенциально опасных участков по горным ударам, выбросам угля и газа, выдавливанию угля и прорывам метана из почвы выработок;
- контроль безопасности и оценка эффективности бурения разгрузочных скважин;
- прогноз геологических нарушений впереди забоя;
- контроль за технологическими режимами функционирования горно-шахтного оборудования в забоях;
- определение участков потенциального деформирования горных выработок в целях оценки их устойчивости;

Стоит отметить, что возбуждаемый в массиве ИАС вследствие воздействия на него горно-шахтного оборудования представляет собой суперпозицию собственных (резонансных) упругих колебаний, генерируемых каждым слоем пород, ограниченным ослабленными межслоевыми контактами (далее- ОМК) [73]. Учитывая, что каждая частота резонансных колебаний – величина, обратно пропорциональная мощности определенного породного слоя, а также зависимость амплитуды данных частот от степени ослабления ОМК, параметры вышеуказанного ИАС отражают объективную информацию о НДС массива горных пород, что позволяет определять характер и интенсивность развития межслоевых деформаций, а также особенности расслоения массива в процессе выемки угля. Результаты исследований, проведенных в различных горно-геологических условиях и подтверждающих применимость и эффективность данного подхода к оценке состояния массива, в том числе изложены в работах [74-77].

Одной из отличительных особенностей данной системы в том числе является автоматическая регулировка и, при необходимости, корректировка

вышеуказанных пороговых значений по мере подвигания забоя, что исключает влияние субъективного фактора на результаты.

Обработка регистрируемого ИАС осуществляется в непрерывном режиме на протяжении полного цикла выемки угля, при этом информативные прогностические параметры устанавливаются по результатам поэтапного усреднения спектра данного сигнала.

«САКСМ» представлен аппаратным комплексом из наземного устройства, регистрирующего геофона и переговорного устройства со следующими характеристиками: частотный диапазон 20-3500 Гц, дальность передачи сигнала – до 10 км. Регистрирующий геофон включает в себя пьезоэлектрический преобразователь упругих колебаний в электрический сигнал, усилитель и преобразователь для передачи акустического сигнала на поверхность.

Также стоит отметить, что оценка состояния исследуемого массива, основанная на анализе спектра ИАС, имеет ряд существенных преимуществ перед исследованиями на основе регистрации акустической эмиссии [78]:

- оценка состояния массива осуществляется в непосредственной близости от источника возбуждения упругих колебаний;
- спектральное отображение ИАС позволяет «сворачивать» информацию, накапливаемую в процессе длительного воздействия горного оборудования на массив, что повышает качество автоматизации процесса обработки сигнала и дальнейшего анализа.

Помимо этого, в работах [79,80] отмечена проблема в части установления количественной взаимосвязи параметров акустической эмиссии и физических характеристик массива.

В настоящее время «САКСМ» установлена на объектах всех угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс», а ее эффективность в части решения вышеуказанных горно-геологических задач, изученная как на стадии опытно-промышленных испытаний, так и в процессе непосредственной эксплуатации, изложена в работе [81].

Соответственно, именно автоматизация процессов регистрации ИАС, возникающих в призабойной части массива в процессе воздействия на него горного оборудования, позволят обеспечить получение объективной и своевременной информации о его состоянии, а также повысить уровень безопасности на угольных шахтах в части прогноза и предотвращения ГДЯ и минимизации остановок основных технологических операций, посредством качественного анализа информации и исключения влияния фактора субъективизма на конечный результат.

Кроме того, на основе анализа поступающей информации представляется возможным дальнейшее развитие методов оценки НДС массива горных пород и расширение перечня разрешаемых задач, среди которых особое место занимает необходимость прогноза участков посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт и определение участков деформирования горных выработок.

В работе [82] также отмечается актуальность анализа влияния буровзрывных работ, осуществляемых в непосредственной близости от горных выработок смежных угольных шахт, оценка устойчивости эксплуатационного состояния которых может быть реализована на основе моделирования спектрального состава сейсмических волн.

Наряду с вышеописанными отечественными системами, обеспечивающими автоматизацию процесса мониторинга за состоянием массива горных пород, в комплексы безопасности горнодобывающих предприятий России также интегрированы различные иностранные системы и модули, описание наиболее распространенных из которых представлено в диссертации [83]. Так, среди горно-геологических систем общего назначения применяются: Micromine, Gemcom, Surpac [84-90], основу которых составляет реализация задач геомеханического моделирования и планирования добычных процессов. Среди систем, позволяющих в автоматизированном режиме проектировать топологию угольных пластов, используются RockWare и Vulcan [91,92]. Для реализации задач прогнозирования геологической

структуры массива горных пород на основе сейсмической томографии применяются системы TSP 303 и TRT 600 [93,94].

1.5 Цель работы и задачи исследования

Выполненный анализ показателей и факторов, определяющих динамику развития угольной промышленности РФ, причин аварийности, обусловленной геодинамическими явлениями, на примере крупнейшего и наиболее аварийного центра угледобычи в стране, а также наиболее технологичных и перспективных методов контроля НДС массива горных пород, позволяет сделать следующие выводы:

1. планомерное увеличение добычи угля в России, обеспечиваемое интеграцией современного высокотехнологичного оборудования, связано с переходом к отработке более глубоких горизонтов, увеличением протяженности выемочных столбов и очистных забоев, что приводит к усложнению условий подземной разработки в части негативного влияния горного давления и геодинамических явлений;

2. доля геодинамических явлений в общей структуре аварий, происходивших до 2021 года на угольных шахтах страны, составляет 17% и по частоте проявления уступает лишь пожарам (33%) и взрывам (26%), при этом установленные причины крупных аварий на шахтах Кузбасса указывают на то, что именно обрушения пород основной кровли становятся иницирующим фактором для возникновения как пожаров, так и взрывов в горных выработках, что свидетельствует о критической важности непрерывного и объективного контроля за состоянием призабойной части массива горных пород;

3. перспективное решение актуальной задачи для угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» в части исключения необходимости остановки основных технологических процессов в связи с проведением операций по прогнозу геодинамических явлений заключается в переходе к контролю за напряженно-деформированным состоянием призабойной части массива по искусственным акустическим сигналам;

4. решением задачи по обеспечению своевременной и достоверной оценки состояния массива, подверженного влиянию добычных работ, является интеграция метода непрерывного и автоматизированного получения и анализа информации, которая с наибольшей объективностью отражается в параметрах искусственного акустического сигнала, возникающего в массиве вследствие воздействия на него горного оборудования, что позволяет определять характер и интенсивность развития межслоевых деформаций, а также особенности расслоения массива в процессе выемки угля.

В связи с этим **цель диссертационной работы** заключается в обосновании и разработке метода контроля НДС призабойной части массива горных пород по параметрам ИАС для своевременной оценки степени разупрочнения горных пород, определения целесообразности применения превентивных мер по предотвращению горных ударов, мониторинга состояния массива при ведении очистных работ в сложных горно-геологических условиях, а также для прогнозирования участков посадки основной кровли в очистных забоях наряду с оценкой степени опасности возникающих при это геодинамических явлений, что позволит обеспечить безопасность и непрерывность технологических процессов выемки угля.

Задачи исследования:

1. Исследование условий возникновения ИАС в массиве горных пород и обоснование возможности применения его информативных параметров для контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород.

2. Установление порядка регистрации и обработки ИАС для проведения локальных акустических зондирований и непрерывного мониторинга в горных выработках и очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс».

3. Оценка НДС призабойной части массива горных пород и опасности проявления негативных геодинамических явлений по параметрам ИАС при ведении очистных работ в сложных горно-геологических условиях, к которым

относятся: зоны ПГД, участки пересечения передовых выработок и сбоек оконтуривающих выработок, а также зоны влияния геологических нарушений.

4. Исследование динамики развития межслоевых деформаций, возникающих при посадке основной кровли угольного пласта, и определение характера распределения информативных параметров ИАС в каждом цикле выемки угля на данных участках при движении очистного забоя.

5. Исследование характера распределения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах ИАС на участках посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» и установление взаимосвязи интенсивности развития межслоевых деформаций с динамикой относительных напряжений.

6. Прогнозирование участков посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» и оценка степени опасности возникающих при этом геодинамических явлений.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСКУССТВЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС» И ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЕГО ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

2.1 Условия возникновения и параметры искусственного акустического сигнала в массиве горных пород

Возникновение искусственного акустического сигнала (далее – ИАС) в массиве горных пород обусловлено его импульсным возбуждением (генерированием) или воздействием горного оборудования и механизмов на массив [73, 95]. При известном (выбранном) месте генерирования ИАС в горной выработке, его регистрация осуществляется в ближней зоне возбуждения, а соответствующий отклик на него массива горных пород сосредоточен в зоне импульсного (генерирующего) воздействия и отражает состояние массива на данном пункте.

Вследствие импульсного воздействия на массив в каждом слое горных пород, ограниченном ослабленным механическим (межслоевым) контактом (далее – ОМК), возникают собственные (резонансные) колебания [96]. В работах [97-99] отмечается, что причиной формирования ОМК в качестве приповерхностной зоны для возникновения резонанса может быть литологический контакт, если он сопровождается перерывом в осадконакоплении, либо развитие микротрещин вдоль контакта или возникновение сдвиговых деформаций.

Приведем теоретические выкладки, подтверждающие вышеотмеченные факты. Пусть T_0 – период вращения шнека очистного комбайна, n – число зубьев. Тогда время между двумя последовательными контактами зубьев шнека с массивом - $\tau = \frac{T_0}{n}$ и является периодом при рассмотрении воздействия.

Считаем, что характерное воздействие одного зуба - τ_0 , а процесс взаимодействия с горной породой описывается функцией (рис. 2.1):

$$f(t) = \frac{-t}{\tau_0} e^{\frac{-|t|}{\tau_0}}, \quad -\tau < t < \tau \quad (2.1)$$

Моменты времени, в которые достигаются максимальные и минимальные значения функции $f(t)$, определим из условия:

$$f'(t) = \left(-\frac{1}{\tau_0} + \frac{t}{\tau_0^2} \text{sign} t\right) e^{\frac{-|t|}{\tau_0}} = 0. \quad (2.2)$$

$$t = \pm \tau_0$$

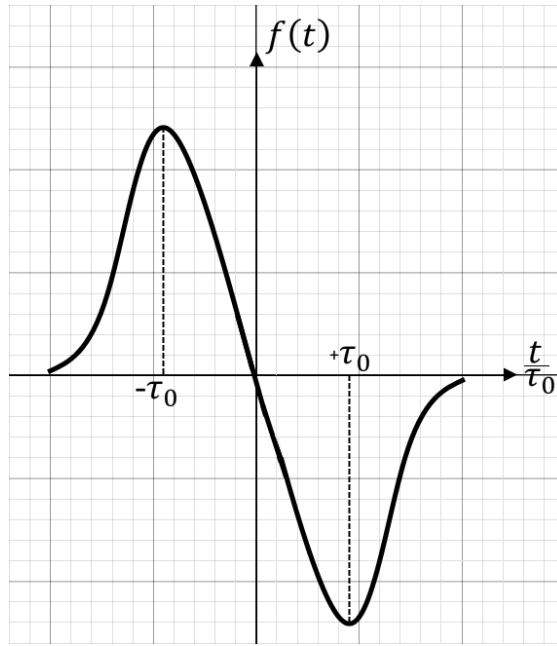


Рисунок 2.1 – Примерный вид функции $f(t)$

Будем считать, что $f(t)$ – периодическая функция с периодом $\tau \geq 3\tau_0$. Разложим $f(t)$ в ряд Фурье (поскольку функция $f(t)$ – нечетная, достаточно ограничиться разложением только по синусам):

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \sin \frac{n\pi t}{\tau}. \quad (2.3)$$

Тогда коэффициенты β_n , представляющие собой собственные частоты колебаний, можно определить из выражения:

$$\beta_n = \frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} \frac{t}{\tau_0} e^{\frac{-t}{\tau_0}} \sin \frac{n\pi t}{\tau} dt = \frac{4n\pi}{\left(\frac{\tau}{\tau_0} + n^2 \pi^2 \frac{\tau_0}{\tau}\right)^2} \quad (2.4)$$

Проведенные для условий шахт «СУЭК-Кузбасс» расчеты показывают, что в диапазон принимаемых существующей аппаратурой сигналов (от 20 до 3500 Гц) укладываются все регистрируемые на практике резонансные частоты, что подтверждает правомочность такого подхода.

Стоит отметить, что происхождение ОМК обусловлено межслоевыми деформациями, возникающими при прогибании толщи горных пород в процессе ведения очистных или проходческих работ, а также в период эксплуатации горных выработок. Возникновение деформаций в массиве горных пород происходит, как правило, по литологическим контактам, но также возникают «ослабления» в плоскостях средней части каждой отдельной прогибающейся толщи пород.

Соответственно, возбуждаемый в слоистом массиве горных пород акустический сигнал является суперпозицией собственных (резонансных) упругих колебаний, возникающих в каждом отдельном слое.

По результатам анализа литературных источников, установлено, что исследуемый по акустическим сигналам массив горных пород проявляет свойство колебательной системы [100]. Учитывая, что получение сигнала гармонического вида возможно только при воздействии на колебательную систему [101], в отношении массива горных пород, подверженного влиянию добычных работ, выбрана схема измерений, при которой в качестве источника возникновения ИАС выступает импульсное воздействие на массив, а его регистрация осуществляется при использовании специального датчика (геофона).

Гармонические затухающие колебания, возникающие в каждом слое толщиной (h , м) вследствие импульсного воздействия на массив горных пород, характеризуются собственной резонансной частотой (f_p , Гц). Именно регистрируемая в процессе мониторинга резонансная частота собственных колебаний (f_p , Гц) позволяет установить местоположение (h , м) данных ОМК относительно угольного пласта в месте импульсного воздействия на массив.

Данное расстояние (h , м) от места возбуждения колебаний до ОМК в массиве горных пород определяется по формуле:

$$h = \frac{v}{f_p} \quad (2.5)$$

где v – скорость распространения поперечной волны. Данная величина – постоянна для большинства типов осадочных пород и составляет 2500 м/сек. Многочисленные наблюдения, проведенные на различных угольных шахтах, показали, что погрешность определения местоположения ОМК составляет не более 10%.

Амплитуда резонансной частоты собственных колебаний, как правило, зависит от степени ослабления горных пород в приповерхностной зоне контакта.

В слоистом массиве, непрерывно подверженном механическому воздействию в процессе проведения горных выработок или операций по выемке угля в очистных забоях, также возникают резонансные колебания, параметры которых соответствуют вышеуказанным свойствам.

Таким образом, изменения напряженно-деформированного состояния массива контролируются по регистрируемым резонансным частотам ИАС и их амплитудам в разрезе, совмещенном с пунктом возбуждения колебаний.

Также, на основе вышеописанной связи ОМК, по спектрам ИАС оценивается интенсивность межслоевых деформаций, возникающих в процессе выемки угля.

В работе [102] подтверждается объективность оценки состояния массива горных пород на основе импульсного возбуждения ИАС.

2.2 Регистрация и обработка искусственных акустических сигналов при проведении периодических (локальных) акустических зондирований в горных выработках угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

2.2.1 Регистрация ИАС при проведении периодических (локальных) акустических зондирований в горных выработках угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Мониторинг массива горных пород методом акустического зондирования, реализуемый в целях оценки его напряженно-деформированного состояния в очистных и подготовительных горных выработках, основан на импульсном возбуждении упругих колебаний в массиве, которые геофоном преобразуются в электрический сигнал звуковой частоты (далее – акустический сигнал).

При проведении периодических (локальных) акустических зондирований в горных выработках угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» регистрация акустического сигнала осуществляется с применением искробезопасного портативного регистратора акустических сигналов (РИПАС), комплектность которого представлена на рисунке 2.2. Последующая обработка зарегистрированных ИАС для интерпретации результатов наблюдений и оценки состояния исследуемого массива горных пород осуществляется в ПО «Геоскан-Ривас».



Рисунок 2.2 – Комплект регистратора искробезопасного портативного акустического сигнала РИПАС («МНТЛ-РИВАС»)

Принцип действия вышеуказанного регистратора заключается в приеме упругих колебаний массива горных пород посредством преобразования их в цифровой сигнал с последующей записью на внутреннюю SD-карту. Передача информации для ее последующей обработки доступна при подключении к порту USB type-A.

Порядок наблюдений при использовании вышеуказанного аппаратно-программного комплекса заключается в установке геофона из комплекта аппаратуры РИПАС на обнажении угольного пласта с последующим нанесением серии ударов по правую (+) и левую (-) стороны от геофона (на расстоянии: 1.5–2.0 м) для регистрации акустических импульсов, обусловленных обратной реакцией массива горных пород на импульсное воздействие, при которой, в каждом слое, разделенном ОМК различной природы происхождения, возникают собственные резонансные колебания.

При установке регистрирующего геофона обязательным условием является обеспечение его плотного контакта с массивом и исключение регистрации колебаний, возникающих в элементах крепи горной выработки. Геофон может быть установлен посредством закрепления на анкерах крепления бортов выработки при помощи специального прижимного устройства или посредством прижатия геофона к массиву металлической сеткой (рис 2.3).



Рисунок 2.3 – Вариант установки регистрирующего геофона в подготовительных горных выработках угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

При этом металлическая сетка должна соприкасаться только с демпфирующей прокладкой на тыльной стороне геофона, не допускается ее контакт с металлической частью геофона. Кроме того, необходимо соблюдать однообразие крепления регистрирующего геофона по всему заданному профилю наблюдений (горной выработки).

В спектре регистрируемого акустического сигнала, представляющего собой суперпозицию упругих колебаний, резонансные частоты выделяются высокими амплитудами. Получаемые спектры ИАС отражают интенсивность деформаций, возникающих в процессе выемки угля или при сдвигении вышележащей толщи горных пород.

Следует отметить, что вышеуказанное раздельное представление (+ и -) результатов обработки акустического сигнала, регистрируемого на одном пункте размещения геофона (пункте наблюдений) при импульсном воздействии на угольной пласт, позволяет проводить детализированное исследование динамики напряжений по профилю наблюдений в горной выработке. Получаемые результаты экспериментальных исследований демонстрируют формирование резонанса ИАС по нормали к плоскости импульсного воздействия.

2.2.2 Обработка ИАС при проведении периодических (локальных) акустических зондирований в горных выработках угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Обработка акустических импульсов, регистрируемых при проведении периодических (локальных) акустических зондирований в горных выработках угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс», заключается в определении среднего спектра ИАС по серии нанесенных ударов на каждом пункте наблюдений с последующим выделением резонансных частот для конечного вычисления положения ОМК и определения значений параметров, характеризующих состояние исследуемого массива горных пород.

Перед вычислением среднего спектра ИАС на каждом пункте наблюдений необходимо провести отбраковку некачественных спектров.

Спектр ИАС, пригодный для дальнейших вычислений, представляет собой четко очерченный импульс с наличием первого вступления и плавным уменьшением амплитуды отдельных фаз сигнала по длине импульса. Пример информативного спектра ИАС представлен на рисунке 2.4.

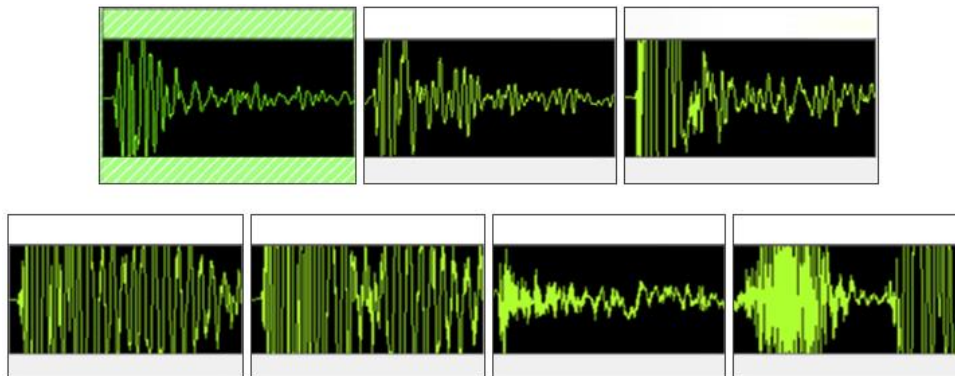


Рисунок 2.4 – Пример информативного (качественного) спектра ИАС (выделен зеленой штриховкой)

При импульсном возбуждении ИАС может быть зарегистрирован в виде осциллограммы или линейного спектра (рис. 2.5). При этом каждая резонансная частота спектра ИАС соответствует положению ослабленного межслоевого контакта в породах горной выработки на расстоянии, определяемом по формуле (2.1).

Реализация быстрого преобразования Фурье (далее – БПФ) в отношении возбуждаемого в углевмещающем массиве ИАС позволяет представить его в виде спектра из суперпозиции резонансных частот, обусловленных возникновением собственных колебаний в каждом из слоев пород.

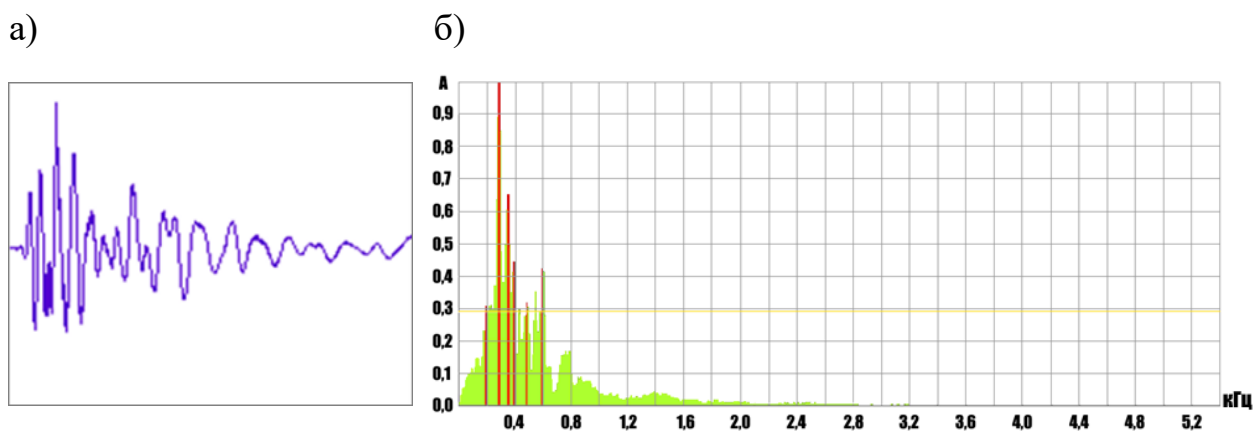


Рисунок 2.5 – Осциллограмма импульса акустического сигнала (а) и линейный спектр импульса акустического сигнала с выделенными резонансными частотами (б): по вертикали – относительная амплитуда A (доли ед.); по горизонтали – частота спектрального максимума f (кГц)

Приемлемое осциллографическое изображение ИАС отличается выдержанной синусоидальной формой при отсутствии «перегрузок», выраженных срезанием верхних или нижних частей амплитуд сигнала.

Вышеуказанное БПФ реализуется в целях «перехода» от временного (синусоидального) вида к спектральному, в результате которого выделяются квадраты амплитуд и сумма квадратов амплитуд, соответствующая энергии акустического сигнала.

Линейный спектр ИАС, на оси абсцисс которого отложены значения частот с дискретностью 20 Гц, а на оси ординат – нормированная по максимальному значению амплитуда резонансной частоты, используется для определения следующих информативных параметров ИАС:

- частота спектрального максимума F (Гц), соответствующая (по формуле 2.1) расстоянию до контакта с максимальным ослаблением;

- суммарная энергия резонансных частот E (отн. ед.), представляющая собой сумму амплитуд резонансных частот в БПФ и характеризующая степень развития межслоевых деформаций в толще углевмещающих пород вблизи исследуемой горной выработки.

По результатам вышеуказанной обработки спектров ИАС устанавливается распределение ОМК по разрезу углевмещающих пород, наряду с оценкой интенсивности ослабления данных контактов.

Данные положения ОМК относительно угольного пласта устанавливаются непосредственно по максимальным значениям амплитуд в спектре акустического сигнала, при этом степень их ослабления зависит от величины энергии (амплитуде данных максимальных значений).

Данная закономерность наблюдается на участках перераспределения напряжений, обусловленных посадкой основной кровли угольной пласта, а также различными горно-геологическими условиями.

Для оценки динамики относительных напряжений призабойной части массива горных пород вычисляется третьоктавный спектр ИАС (реализуется переход к логарифмической горизонтальной шкале частот), по которому

определяются низкочастотные и высокочастотные составляющие спектра, соответствующие сумме амплитуд низкочастотной и высокочастотной частей спектра. По ним вычисляется коэффициент относительных напряжений K (ед.), равный отношению суммы амплитуд высокочастотной части спектра к сумме амплитуд низкочастотной части спектра (рис. 2.6):

$$K = \frac{A_{\text{в}}}{A_{\text{н}}} \quad (2.6)$$

где $A_{\text{в}}$ – сумма амплитуд высокочастотной части спектра акустического сигнала;

$A_{\text{н}}$ – сумма амплитуд низкочастотной части спектра акустического сигнала.

В процессе обработки линейный и третьоктавный спектры масштабируются (нормируются) по максимальному значению амплитуды в спектре (т.е. вычисляется отношение каждой амплитуды к максимальному значению). В результате определяются «доли максимума» по обеим сторонам от границы деления спектра, дальнейшее суммирование которых позволяет получить две вышеуказанные составляющие (низкочастотной и высокочастотной частей спектра соответственно).

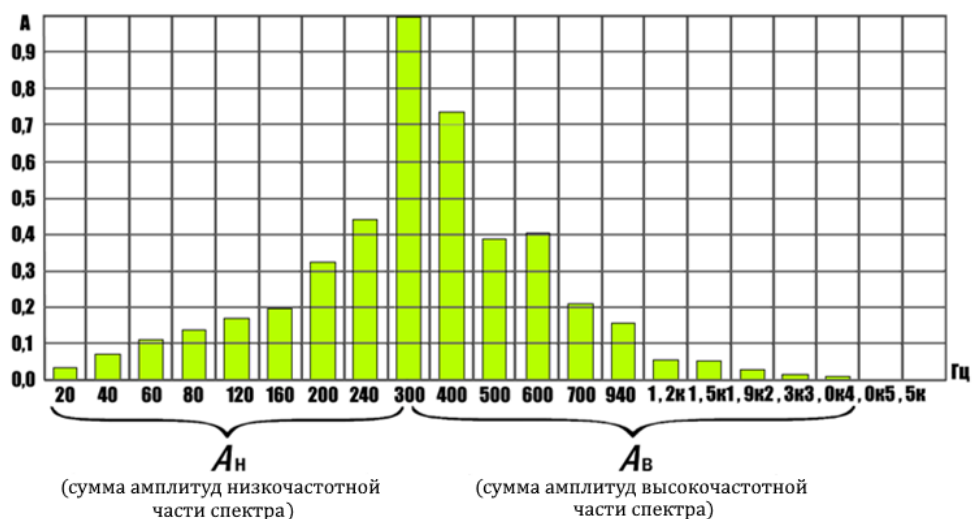


Рисунок 2.6 – Третьоктавный спектр акустического сигнала: по вертикали – относительная амплитуда A (доли. ед.); по горизонтали – частота спектрального максимума f (Гц)

Линии частот спектра ИАС в третьоктавном представлении должны быть сосредоточены в левой, преимущественно, третьей его части при отсутствии

помех, которые располагаются, как правило, по краям спектра – справа или слева.

Расчет третьоктавного спектра акустического сигнала позволяет сократить количество «рабочих» значений амплитуд дискретных частот, а именно: с 256 значений в линейном спектре до 22 – в третьоктавном, что позволяет в целом упростить обработку численных значений ИАС.

Дополнительно вычисляется сумма квадратов амплитуд, которая пропорциональна энергии акустического сигнала. При этом, дискретная удаленность ОМК в соответствии со значениями ряда резонансных частот равна: 62.5 м для 40 Гц; 41 м для 60 Гц; 31.2 м для 80 Гц, 25 м для 100 Гц; 20.8 м для 120 Гц.

Проведенные шахтные эксперименты показали, что в реальных условиях положение ОМК не подчиняется указанной дискретности, поэтому результаты анализа спектров ИАС и вычисленные по ним положения ОМК интерпретируются в качестве интервала в метрах (от – до), в котором может локализоваться активный ослабленный контакт.

При обработке сигнала в ПО «Геоскан-РИВАС» процесс выделения составляющих спектра ИАС для определения коэффициента относительных напряжений K в целях оценки динамики относительных напряжений призабойной части массива горных пород сводится к следующей последовательности:

- формируется устойчивый информативный спектр акустического сигнала в целях исключения «бракованных» спектров. Для этого на неопасном участке горной выработки или на соседних выработках эксплуатируемого угольного пласта посредством акустических зондирований осуществляется набор достаточного объема информации, как правило, не менее 30–35 циклов обработки ИАС;
- третьоктавный спектр раскладывается (определяется граница деления спектра на составляющие) таким образом, чтобы сумма амплитуд низкой

частоты и сумма амплитуд высокой частоты по обе стороны спектра составили одинаковое количество;

- вышеуказанное разложение спектра позволяет установить эталонное значение коэффициента относительных напряжений K на данном неопасном участке горной выработки ($K = 1.0$ ед.) для оценки динамики относительных напряжений в процессе мониторинга на других участках: увеличение высокой частоты в спектре сигнала свидетельствует о повышенных напряжениях, и наоборот. Именно рост высокой частоты в спектре ИАС приводит к увеличению коэффициента относительных напряжений K .

Как показали шахтные эксперименты, высокочастотная составляющая спектра акустического сигнала отражает сосредоточение большого количества ОМК вблизи угольного пласта (точки возбуждения). На участках, где расслоения распространяются по всей толще на расстояния до 20–40 м, наблюдается снижение значений коэффициента относительных напряжений K за счет роста низкочастотной составляющей спектра ИАС.

Соответственно, увеличение значений коэффициента относительных напряжений K указывает на рост напряжений в призабойной части массива, что приводит к накоплению потенциальной энергии и повышению степени опасности возникновения негативных геодинамических явлений.

Соблюдение вышеуказанного порядка регистрации и обработки ИАС в процессе проведения периодических (локальных) акустических зондирований в горных выработках угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» позволяет решать следующие актуальные горно-геологические задачи:

- контроль напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород;
- прогноз геологических нарушений;
- контроль эффективности выполнения мероприятий по предотвращению геодинамических явлений (бурение разгрузочных скважин, гидрорыхление угольного пласта);

- оценка эффективности анкерного крепления при проведении горных выработок.

2.3 Регистрация и обработка искусственных акустических сигналов при проведении непрерывного мониторинга в горных выработках и очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

2.3.1 Регистрация ИАС при проведении непрерывного мониторинга в горных выработках и очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Процесс автоматизированного мониторинга состояния призабойной части массива горных пород также основан на регистрации собственных (резонансных) колебаний, возбуждаемых при воздействии исполнительного (рабочего) органа очистного комбайна на массив при ведении добычных работ.

Непосредственно для регистрации ИАС, возникающих в призабойной части массива в вышеуказанных условиях, и установления его информативных параметров, характеризующих состояние массива, применяется Система акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (далее – САКСМ).

САКСМ – современный аппаратно-программный комплекс, являющийся разработкой «Межотраслевой Научно-технической Лаборатории по Разработке, Изготовлению и Внедрению Автоматизированных Систем в горной промышленности» (МНТЛ-РИВАС).

Использование данной системы обеспечивает регистрацию ИАС в забое горных выработок с последующей передачей, обработкой и анализом данных в автоматизированном режиме, исключая тем самым влияние субъективного фактора на интерпретацию конечных результатов.

Преимущество непрерывного мониторинга НДС массива горных пород спектрально-акустическим методом также отмечено в работах [103, 104], что объясняется функциональной связью величины действующих напряжений в

массиве и параметров ИАС, возникающих под воздействием рабочего органа комбайна или иного горного оборудования на забой.

Основу прогнозирования всех видов динамических явлений и геологических нарушений впереди забоя на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» составляет определение прогностических параметров и соответствующих им пороговых значений ИАС при использовании САКСМ. Кроме того, обеспечивается возможность оценки динамики напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород посредством более детальной обработки и анализа непрерывных ИАС.

Порядок регистрации ИАС и определения вышеуказанных информативных параметров, по которым оценивается состояние призабойной части массива горных пород сводится к реализации следующих принципов:

- установка геофона на элементах механизированной крепи на расстоянии не ближе 10 м от сопряжения очистного забоя с оконтуривающими выработками (максимальная удаленность от сопряжения зависит от длины очистного забоя, но, как правило не должна превышать 40 м);
- соблюдение, в обязательном порядке, идентичности и качества крепления геофона на всем протяжении работы лавы в целях обеспечения однообразия условий получения информации;
- выполнение непрерывной обработки ИАС на всем протяжении работы комбайна по выемке угля, при которой параметры ИАС определяются по спектру, усредненному во временных интервалах;
- обеспечение контроля качества регистрируемых акустических сигналов при использовании программного обеспечения, сохранение их на период не менее 72 часов в целях анализа результатов обработки в режиме текущего времени, а также для ретроспективного анализа параметров ИАС за предыдущие подвигания забоя.

Принципиальная схема работы системы мониторинга состояния массива в очистном забое продемонстрирована на рисунке 2.7.

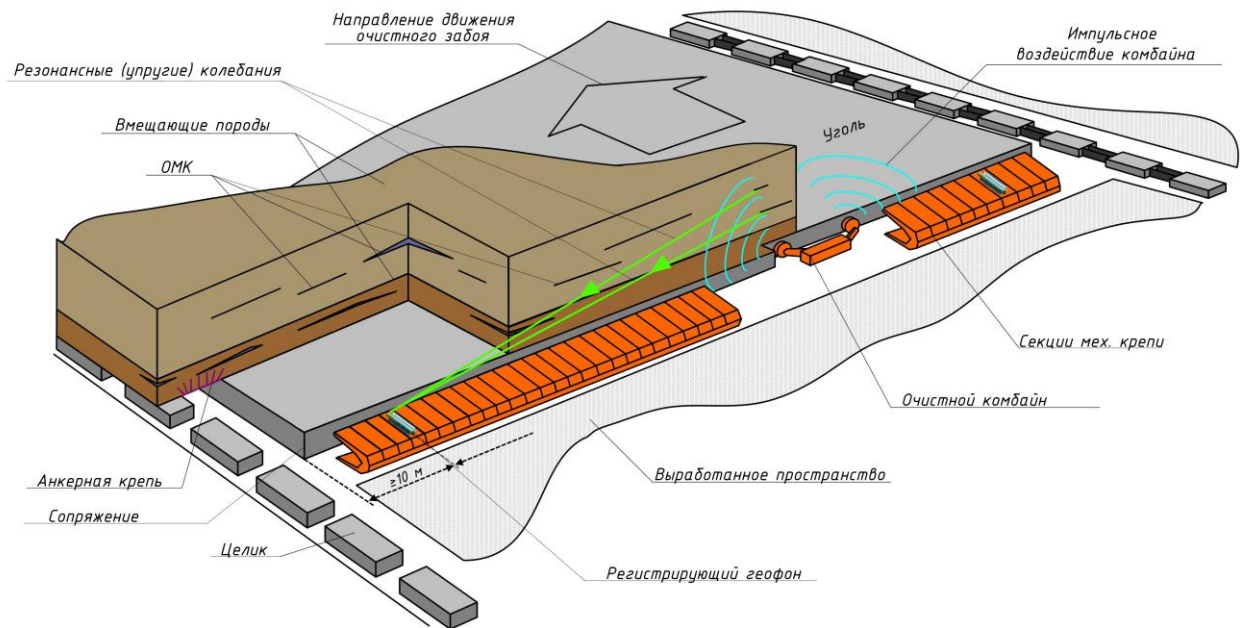


Рисунок 2.7 – Принципиальная схема работы системы мониторинга состояния массива САКСМ в очистном забое угольной шахты АО «СУЭК-Кузбасс»

Регистрирующий геофон системы САКСМ представляет собой цилиндр диаметром 40 мм и длиной 300 мм, включающий в себя пьезоэлектрический преобразователь упругих колебаний в электрический сигнал. Также комплекс аппаратно-программного обеспечения САКСМ представлен усилителем акустического сигнала, преобразователем для его передачи на поверхность и программным обеспечением акустического контроля состояния массива горных пород (АКМП-РИВАС). Частотный диапазон аппаратного комплекса составляет от 20 до 3500 Гц, дальность передачи сигнала – до 10 км.

Схема функционирования САКСМ в очистном забое угольной шахты АО «СУЭК-Кузбасс» предусматривает установку двух регистрирующих геофонов: одного – в вентиляционном штреке, второго – в конвейерном штреке или на элементах механизированной крепи вблизи данных выработок (рис. 2.8). Расстояние между геофонами должно составлять не более 300 м.

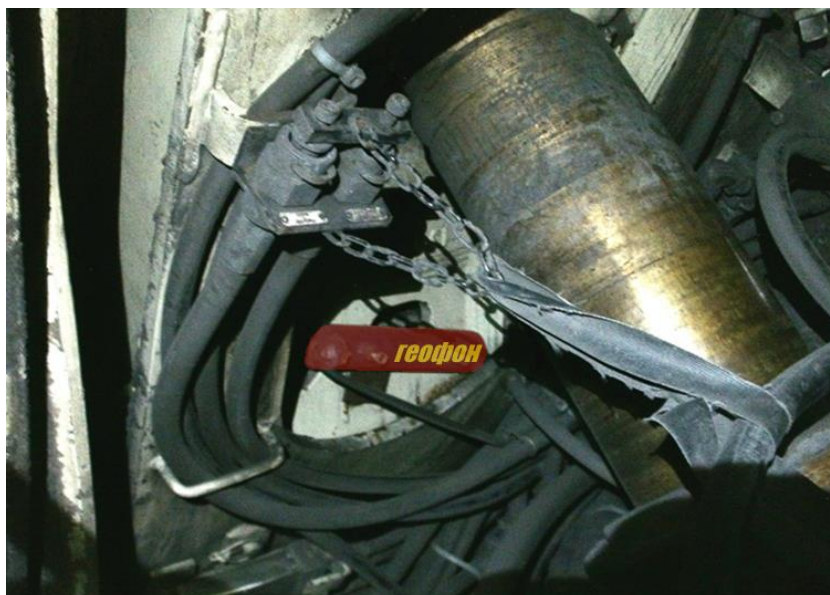


Рисунок 2.8 – Вариант установки регистрирующего геофона на элементе механизированной крепи

2.3.2 Обработка ИАС при проведении непрерывного мониторинга в горных выработках и очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Обработка акустических импульсов, регистрируемых при проведении непрерывного мониторинга в горных выработках и очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» заключается в определении усредненного спектра ИАС, получаемого в течение цикла выемки угля комбайном на протяжении от 10 до 60 минут по всему забою.

Отличительной особенностью данного метода обработки ИАС от ранее описываемого является регистрация до 20 спектров ИАС за 1 секунду работы комбайна. Далее, по аналогии с локальными зондированиями, осуществляется выделение резонансных частот для конечного вычисления местоположения ослабленных межслоевых контактов и определения значений параметров, характеризующих состояние исследуемого участка массива.

При этом, в процессе обработки исключаются отдельные акустические импульсы и усредняются неоднородности возбуждения применительно к воздействию каждого режущего зубка исполнительного органа.

Максимальная длительность интервала набора информации, в котором по усредненному спектру вычисляются все параметры регистрируемого сигнала,

определяется скоростью подвигания очистного забоя, но должна быть не менее 20 секунд.

Под циклом выемки угля понимается промежуток времени между началом и окончанием выемки угля, за которым следуют иные технологические действия, или время подвигания забоя после окончания выемки угля.

Для более детального представления процесса обработки ИАС, регистрируемых в процессе работы очистного или проходческого комбайнов, необходимо разложить его на три основных звена, позволяющих реализовать свертывание поступающей информации в целях уменьшения ее объема:

1. Формирование первичного звена обработки – **«блока»**, при котором длительность набора информации составляет – 1 секунду. На данном этапе выполняется быстрое преобразование Фурье (БПФ) для «перехода» от временного (синусоидального) вида сигнала к спектральному. В «блоке» набирается около 20 спектров (за 1 секунду), в каждом из которых – 256 значений амплитуд дискретных частот и энергий сигнала, по которым вычисляется среднее значение, представляющее собой результат обработки «блока»;

2. Формирование следующего звена - **«интервала»** установленной длительности из результатов вышеуказанного «блока». На данном этапе посредством усреднения вычисляется один спектр сигнала, по которому определяются значения параметров, используемых для оценки состояния массива. Как показали шахтные эксперименты, продолжительности набора «интервала» варьируется от 2 до 30 минут в зависимости от длительности работы комбайна;

3. Формирование конечного звена – **«цикла обработки»**, в котором после набора установленного количества интервалов выполняются окончательное усреднение параметров и необходимые вычисления, на основе анализа которых формулируются результаты прогноза геодинамических явлений и мониторинга состояния исследуемого массива. Стоит отметить, что

формирование устойчивого информативного спектра возможно посредством обработки не менее 35 «циклов обработки», что позволяет исключить «бракованные» спектры.

Соответственно, вышеуказанные манипуляции по свертыванию информативных параметров ИАС позволяют производить детальную оценку напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

По результатам обработки спектров непрерывных ИАС также устанавливается распределение ОМК по разрезу углевмещающих пород, наряду с оценкой интенсивности ослабления данных контактов, а также вычисляются значения информативных параметров, среди которых:

- частота спектрального максимума F (Гц), соответствующая расстоянию до контакта с максимальным ослаблением;

- суммарная энергия резонансных частот E (отн. ед.), характеризующая степень развития межслоевых деформаций в толще углевмещающих пород вблизи исследуемой горной выработки;

- коэффициент относительных напряжений K (ед.), позволяющий оценивать динамику относительных напряжений призабойной части массива горных пород.

Стоит отметить, что определение энергии как фоновых значений акустического сигнала, так и ИАС, обусловленного непосредственно работой комбайна по забою, осуществляется в автоматическом режиме по результатам фиксации значений энергии сигнала на протяжении суток и построения их распределения по ранжированному ряду.

Данный алгоритм автоматического определения значений энергии сигнала при работе комбайна реализуется на этапе отбраковки сигнала для формирования «блоков», «интервалов» и «циклов обработки». При отбраковке исключаются резкие уменьшения энергии сигнала, его переполнения, а также акустические помехи.

Кроме того, в работах [105, 106] на основе исследования спектральных характеристик виброакустических помех, возникающих при работе

различного горного оборудования по забою, отмечено, что виброакустические помехи, в частности от проходческого комбайна, генерируются на достаточно низкой частоте.

Соответственно, эффективность метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива по искусственным акустическим сигналам в целях прогнозирования всех видов динамических явлений и геологических нарушений впереди забоя, а также оценки динамики напряженно-деформированного состояния призабойной части массива на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» подтверждается следующими базисными принципами:

1. ИАС, возникающий вследствие воздействия горного оборудования на массив, содержит информацию о его напряженно-деформированном состоянии;

2. регулярное развитие деформаций при выемке угля обеспечивает возвратно-поступательное движение максимума опорного давления впереди забоя и приводит к разгрузке призабойной части пласта, что отражается в спектре ИАС перераспределением амплитуд его максимумов;

3. образование зон повышенных напряжений и накопление в них потенциальной энергии является причиной возникновения динамических явлений (горные удары, выбросы угля и газа и др.), что отражается в спектре ИАС уменьшением низкочастотной составляющей при одновременном увеличении высокочастотной составляющей;

4. прогноз вышеуказанных негативных динамических явлений и оценка напряжений осуществляется посредством сопоставления текущих параметров акустического сигнала с эталонными, установленными на неопасном участке исследуемой выработки или на соседних выработках эксплуатируемого пласта.

Соблюдение вышеуказанного алгоритма регистрации и обработки непрерывных ИАС, возникающих вследствие воздействия очистного

комбайна на забой, позволяет решать следующие актуальные для условий угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» горно-геологические задачи:

- прогноз геодинамических явлений в очистном забое;
- прогноз посадки основной кровли;
- прогноз внезапных обрушений пород кровли.

2.4 Обоснование возможности определения зон интенсивного развития межслоевых деформаций по параметрам ИАС и оценка соответствия результатов акустических зондирований с результатами бурения скважин

В целях определения возможности применения параметров ИАС для решения различных горно-геологических задач выполнены акустические зондирования по вентиляционному штреку шахты «Талдинская-Западная № 2» для оценки динамики напряженно-деформированного состояния массива горных пород впереди очистного забоя в лаве 70-10 при выемке угля и подвигании забоя.

Необходимость проведения шахтных экспериментов в данных горно-геологических условиях обусловлена повышением (усилением) интенсивности обрушения пород кровли в вентиляционном штреке и примыкающей к нему части забоя, что в значительной степени оказывало влияние на темпы и безопасность ведения горных работ.

Лавы 70-10 шахты «Талдинская-Западная № 2» отрабатывает угольный пласт «70» мощностью 4.7 м, непосредственная кровля представлена алевролитами мощностью 2.5-8.0 м, основная кровля – песчаниками мощностью 9.5-21 м и крепостью от 3.4 до 6.3.

В рамках шахтных экспериментов также осуществлялась оценка соответствия положения ослабленных межслоевых контактов, определенных по результатам акустического зондирования, литологическим границам, установленным непосредственно по результатам бурения. Для этого были

пробурены две скважины длиной 6.4 м и 3.8 м в районе пикетов № 44 (скв. № 1) и № 45 (скв. № 2) на удалении 200 м от очистного забоя.

На рисунке 2.9 представлен спектр ИАС, полученный в результате импульсного возбуждения массива в непосредственной близости от буровой скважины длиной 6 м, а также значения расстояния до ОМК, определенные по резонансным частотам спектра. Кроме того, по данным бурения скважины отображено расстояние от угольного пласта до кровли литологических разностей: 1.3 м – аргиллит, 3.1 м – алевролит (мощностью 1.8 м), 6.2 м – песчаник (мощностью более 3 м.).

Установлено, что относительная ошибка определения местоположения ОМК по результатам эксперимента не превышает 9%.

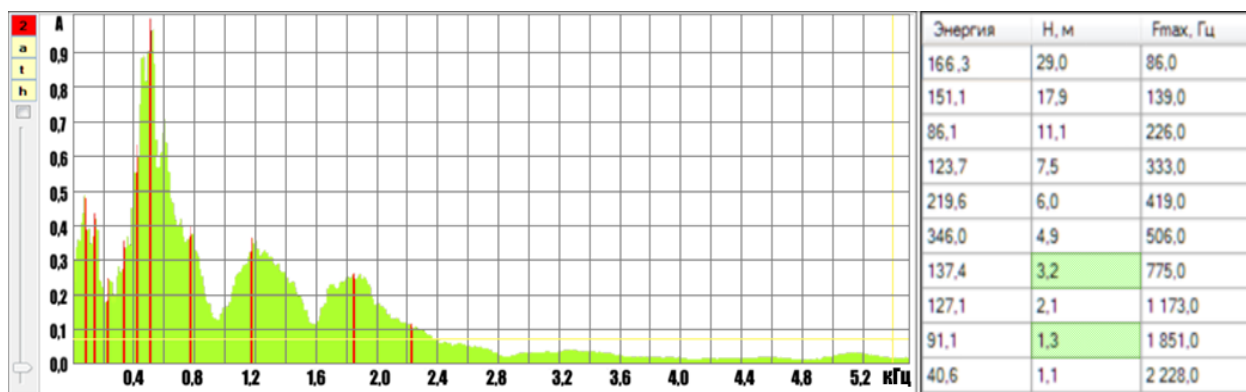


Рисунок 2.9 – Спектр ИАС и значения расстояний до ОМК в вентиляционном штреке лавы 70-10 (ПК 44, скв. №1, ш. «Талдинская-Западная №2): по вертикали - относительная амплитуда A (доли. ед.); по горизонтали – частота спектрального максимума f (кГц)

Таблица 2.1 – Геологическое описание контрольной скважины

Интервал (мощность слоя, м)	Наименование пород	Положение границы, м
ПК 44, шпур № 1		
0.0–1.3 м (1.3)	Аргиллит	1.3
1.3–3.1 м (1.8)	Алевролит	3.1
3.1–6.4 м (3.3)	Песчаник	6.4

При этом, по результатам акустических зондирований в районе вышеуказанных скважин резонансными частотами в спектре акустического сигнала отмечены литологические контакты на расстоянии около 1.3 м и 3.2 м.

По результатам работ [107-109] также подтверждена взаимосвязь параметров ИАС и НДС массива горных пород, в том числе при исследовании

на основе обработки ИАС и определения выхода буровой мелочи в процессе бурения скважины в забое шахты АО «СУЭК-Кузбасс».

В целом по результатам акустических зондирований выполнен анализ динамики напряжений в непосредственной близости от очистного забоя и представлено подробное распределение напряжений по всему профилю наблюдений.

Периодические акустические зондирования, выполненные в вентиляционном штреке 70-10, позволили выделить зоны интенсивного развития межслоевых деформаций с локализацией минимальных значений коэффициента относительных напряжений, что свидетельствует о том, что ведение горных работ в пределах данных зон сопряжено с повышенной опасностью обрушения пород кровли. (рис. 2.10).

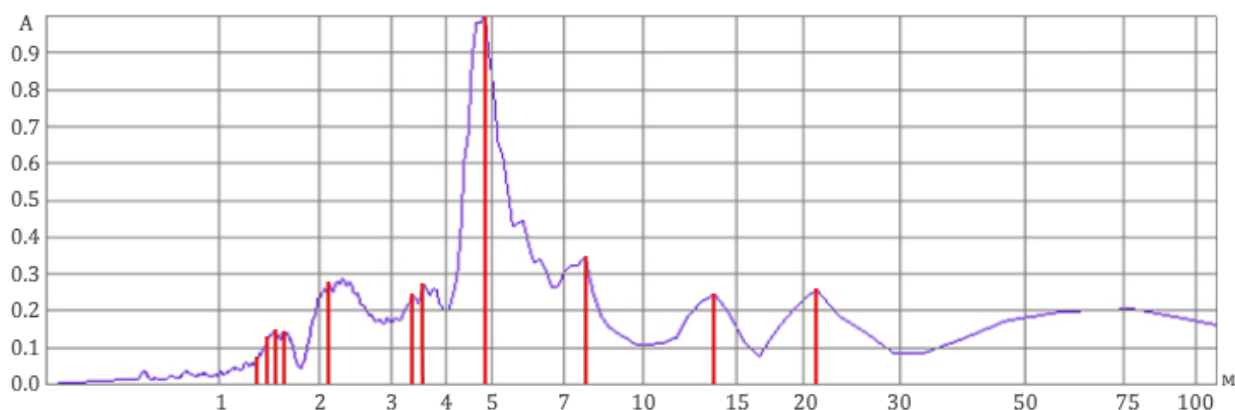


Рисунок 2.10 – Распределение относительных напряжений в вентиляционном штреке 70-10: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.); по горизонтали – номера пикетов по профилю наблюдений

Первый участок относительной разгрузки напряжений, представляющий опасность по обрушению пород кровли, установлен в процессе исходных наблюдений в вентиляционном штреке. Он локализован на расстоянии 45 – 70 м от очистного забоя в районе пикетов 30-33. Значения коэффициента

относительных напряжений K на данном участке минимальных напряжений составили от 0.57 до 0.67 ед., при этом в вентиляционном штреке ослабленные межслоевые контакты локализованы на расстояниях 7, 10, 20 и 30 м от угольного пласта, а на участке первых максимальных напряжений (K достиг 2.01 ед.) – на расстоянии 5 м (рис. 2.11).

а)



б)

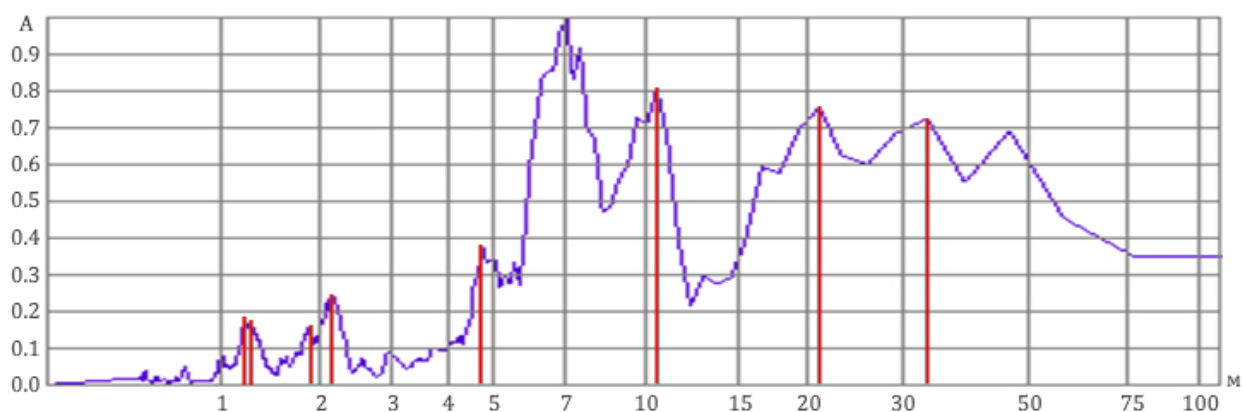


Рисунок 2.11 – Положение ОМК вблизи очистного забоя на участке первых максимальных напряжений ПК 26-27 (а) и в минимуме напряжений ПК 30-31(б) в вентиляционном штреке 70-10: по вертикали – значения относительной амплитуды A (отн. ед.), по горизонтали – расстояние локализации ОМК относительно угольного пласта в метрах

Выполнение очередного цикла акустических зондирований позволило определить, что вышеуказанный участок относительной разгрузки и развития интенсивных расслоений в породах кровли вентиляционного штрека существенно не изменил своего положения. При этом, дополнительно в пределах 40-х пикетов сформировалась еще одна зона относительной разгрузки массива горных пород, а также зафиксировано локальное повышение коэффициента K в 12 раз (от 0.3 до 3.6 ед.) вблизи забоя. Подобное

аномальное поведение пород кровли на данном участке сохранялось при движении очистного забоя, что является признаком повышенной опасности обрушения пород кровли при пересечении его очистным забоем.

Итоговый цикл акустических зондирований в вентиляционном штреке 70-10 выполнен в момент нахождения очистного забоя на участке относительной разгрузки и интенсивного расслоения пород кровли (рис. 2.12). По результатам был отмечен высокий уровень аварийности штрека в виде образования вывалов и уменьшения его сечения.



Рисунок 2.12 – Распределение относительных напряжений в вентиляционном штреке 70-10: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.); по горизонтали – номера пикетов по профилю наблюдений

Выводы по второй главе:

1. Применяемый порядок регистрации резонансных частот ИАС и их амплитуд позволяет контролировать изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в зоне импульсного воздействия на него.

2. На основе вышеописанной связи ОМК по спектрам регистрируемого ИАС возможно проводить оценку интенсивности межслоевых деформаций,

возникающих в процессе выемки угля или при сдвигении вышележащей толщи горных пород.

3. Анализ амплитуд резонансных частот ИАС позволяет определять степень ослабления контакта между слоями, которое во многом обусловлено межслоевыми деформациями, возникающими вследствие ведения горных работ.

4. Установление местоположения ОМК относительно угольного пласта возможно непосредственно по максимальным значениям амплитуд в спектре ИАС, наряду с оценкой их ослабления на основе анализа величины энергии ИАС (амплитуде данных максимальных значений).

5. Увеличение значений коэффициента относительных напряжений K указывает на рост напряжений в призабойной части массива, накопление потенциальной энергии и повышение степени опасности возникновения негативных геодинамических явлений.

6. Регистрация непрерывных ИАС в забоях горных выработок при использовании САКСМ позволяет в автоматизированном режиме обеспечить передачу, обработку и анализ данных, исключая тем самым влияние субъективного фактора на интерпретацию конечных результатов.

7. Применяемый порядок регистрации непрерывных ИАС в очистных забоях обеспечивает возможность оценки динамики напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород посредством более детальной обработки и анализа ИАС.

8. Подтверждено соответствие положения ОМК, определенных по результатам акустического зондирования, литологическим границам, установленным непосредственно по результатам бурения.

9. Выполненные акустические зондирования показали свою эффективность в части контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород при ведении очистных работ. Периодические наблюдения позволяют отслеживать динамику состояния массива горных пород впереди очистного забоя.

10. Установлено, что участки локальной разгрузки с интенсивным развитием межслоевых деформаций, ограниченные повышенными напряжениями, представляют наибольшую опасность по обрушению пород кровли и приводят к существенным осложнениям при поддержании горных выработок. Степень опасности данных участков возможно оценивать по величине концентрации напряжений, а также по количеству и относительной интенсивности ослабленных межслоевых контактов.

11. Установлено, что влияние очистного забоя на существенные изменения напряженно-деформированного состояния массива вблизи горных выработок составляет не менее 200 м.

По результатам проведенных исследований были сформулированы следующие рекомендации в части контроля за НДС призабойной части массива:

1. акустические зондирования следует выполнять на стадии проведения подготовительных выработок и перед началом ведения очистных работ для выявления участков повышенных напряжений, в которых при ведении очистных работ могут возникнуть интенсивные межслоевые деформации;

2. при ведении очистных работ необходимо выполнять периодические акустические зондирования впереди забоя на расстоянии не менее 200 м для выявления потенциально опасных участков по обрушению пород кровли и аварийному состоянию оконтуривающих выработок.

ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО ИСКУССТВЕННЫМ АКУСТИЧЕСКИМ СИГНАЛАМ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС»

В процессе отработки склонных к динамическим явлениям угольных пластов необходимо выявлять участки ведения горных работ, характеризующиеся особо сложными условиями, к которым отнесены: различные геологические нарушения, зоны повышенного горного давления, участки проведения работ по пересечению передовых горных выработок и сопряжений.

Данные потенциально опасные горно-геологические зоны в большинстве своем уточнены в геолого-маркшейдерской документации, однако оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород и степени опасности проявления различного вида геодинамических явлений остается актуальной задачей в части обеспечения безопасности ведения горных работ.

При этом в процессе ведения горных работ нередко возникают случаи вскрытия ранее неустановленных при разведке геологических нарушений. Преимущественно данные факты обнаруживаются в процессе проведения подготовительных горных выработок. Соответственно, возникает необходимость уточнения границ зон повышенного горного давления, которые, как правило, определяются посредством графических построений и вычислений без полного и объективного учета особенностей массива горных пород и реального распределения показателей напряженно-деформированного состояния в их пределах. В работах [110-112] также указывается на актуальность проблемы, связанной с неполнотой понимания физической природы и особенностей различных форм негативных геодинамических явлений в твердых средах, к которым относится массив горных пород.

В работе [113] отмечается, что сложное строение и неоднородность физико-механических свойств массива, несмотря на значительный мировой опыт ведения горных работ, и в настоящее время не позволяют выделить типовые закономерности поведения массива, подверженного влиянию добычных работ.

Безусловно, некоторые задачи, связанные с контролем напряженно-деформированного состояния массива горных пород, решаются определенными геофизическими методами [114]. Однако, как отмечено ранее, наибольшая перспективность и эффективность оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород достигается применением методов, основанных на исследовании параметров искусственных акустических сигналов, возникающих в призабойной части массива под воздействием различного горного оборудования.

Шахтные эксперименты по разработанному методу контролю напряженно-деформированного состоянием призабойной части массива горных пород по искусственным акустическим сигналам проводились на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» (ш. «Им. С.М. Кирова», ш. «Им. В.Д. Ялевского», ш. «Комсомолец» и ш. «Талдинская-Западная № 2»).

Анализ параметров непрерывно возбуждаемых ИАС, регистрируемых автоматизированной системой акустического контроля массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ), осуществлялся в процессе мониторинга НДС массива для решения конкретных горно-геологических задач, связанных с определением его особенностей в зонах геологических нарушений, зонах повышенного горного давления, а также на участках пересечения передовых горных выработок и сопряжений.

Ниже представлена краткая геологическая характеристика угольных пластов, на которых рассматриваются объекты исследований.

1. Шахта «Им. С.М. Кирова», пласты «Поленовский» и «Болдыревский» на глубинах до 580 м. Угольный пласт «Поленовский» мощностью 1.8 м, в кровле – аргиллит и алевролит 1.5-8 м, песчаник 6 – 20 м. Угольный пласт

«Болдыревский» мощностью 2.05- 2.4 м, в кровле – алевролит до 8 м, песчаник до 20 м, служит защитным для пласта «Поленовский».

2. Шахта «Комсомолец», пласт «Толмачевский» мощностью от 2.4 до 2.8 м, в кровле – алевролит 3.5 м, песчаник 20 м.

3. Шахта «Им. В.Д. Ялевского», угольный пласт «50» мощностью от 3.7 до 4 м, в кровле – алевролит до 10 м, песчаник до 30 м, алевролит до 20 м, выше, в 60 м, залегает отработанный пласт «52».

4. Шахта «Талдинская-Западная №2», угольный пласт «70» мощностью 4.7 м, непосредственная кровля представлена алевролитами мощностью 2.5–8.0 м, основная кровля – песчаниками мощностью 9.5-21 м и крепостью от 3.4 до 6.3.

3.1 Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам ИАС в зонах повышенного горного давления

Зоны повышенного горного давления (ПГД), формирующиеся за счет оставленных целиков угля при отработке угольных пластов, оказывают негативное влияние на безопасность ведения горных работ [115]. Степень влияния данных зон в значительной степени определяется мощностью междупластья и структурой породного массива.

В работах [116,117] указывается на увеличение горного давления с переходом к отработке более глубоких горизонтов, что, при наличии значительных зон ПГД, становится причиной крупноблочных обрушений в демонтажных камерах.

Негативное влияние зон ПГД распространяется на темпы продвижения очистных забоев, что напрямую ухудшает планово-экономические показатели предприятий, при этом возникают зоны повышенных расслоений кровли и пучения почвы выработок, что отражено в работах [118,119].

Соответственно, целью проведенных исследований является детальный анализ зон ПГД на шахтах «Им. С.М. Кирова» и «Комсомолец» при

возбуждении ИАС в массиве как посредством импульсного воздействия, так и при объемном возбуждении комбайном по мере движения забоя.

Шахта «Им. С.М. Кирова» отрабатывает угольные пласты «Поленовский» и «Болдыревский» на глубинах до 580 м. Мощность угольного пласта «Поленовский» - 1.8 м, в кровле – аргиллит и алевролит (1.5-8 м), и песчаник (6-20 м). Мощность угольного пласта «Болдыревский» варьируется от 2.05 до 2.4 м, в кровле – алевролит до 8 м, песчаник до 20 м. Данный пласт служит защитным для пласта «Поленовский», который, в свою очередь, удален от него на 43 м.

Шахта «Комсомолец» отрабатывает угольный пласт «Толмачевский» мощностью от 2.4 до 2.8 м, в кровле – алевролит 3.5 м, песчаник 20 м. Непосредственно мощность междупластья составляет около 60 м.

3.1.1 Исследование особенностей НДС массива горных пород в зонах повышенного горного давления по параметрам непрерывно возбуждаемых ИАС

В целях оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород исследовано распределение коэффициента относительных напряжений K в процессе проведения газодренажного штрека 25-03 по пласту «Поленовский» шахты «Им. С.М. Кирова», забой которого пересек угол зоны ПГД (рис. 3.1)

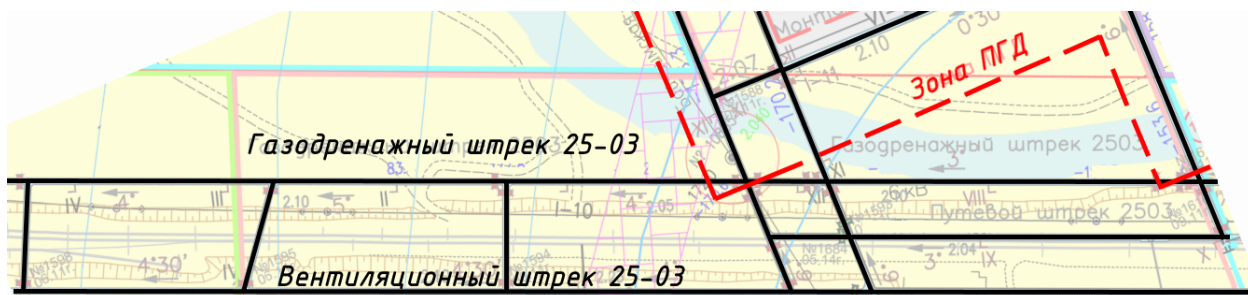


Рисунок 3.1 – План горных работ по угольному пласту «Поленовский» в зоне расположения газодренажного штрека 25-03

В данном случае ширина зоны ПГД - 32 м, а установленное максимальное значение коэффициента относительных напряжений K составило 1.65 ед. при фоновых – 0.6 – 0.7 ед. (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Распределение относительных напряжений в газодренажном штреке 25-03 при пересечении зоны ПГД: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что установленное распределение коэффициента относительных напряжений K характеризует напряженно-деформированное состояние массива горных пород при пересечении горными выработками протяженных зон ПГД относительно небольшой ширины, образованных, например, от целиков угля вдоль поддерживаемых горных выработок на защитном пласте, так называемые ленточные зоны ПГД.

Аналогичное исследование характера распределения коэффициента относительных напряжений K проведено при пересечении зоны ПГД большей ширины (≈ 100 м) конвейерным штреком 18-46 в процессе отработки лавы по пласту «Толмачевский» шахты «Комсомолец» (рис. 3.3).

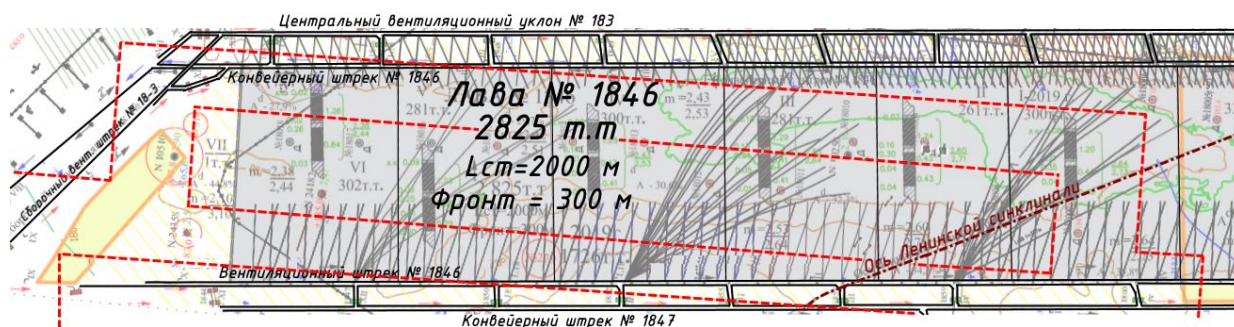


Рисунок 3.3 – План горных работ по угольному пласту «Толмачевский» шахты «Комсомолец» в зоне расположения конвейерного штрека 18-46

На рисунке 3.4 представлены результаты исследования в данных горно-геологических условиях: минимальное значение коэффициента относительных напряжений K составило – 0.64 ед., максимальное – 1.5 ед., а учитывая, что вход в зону ПГД осуществлялся под острым углом, градиенты данного коэффициента именно при входе в зону – выше относительно значений, установленных на выходе из нее.



Рисунок 3.4 - Распределение относительных напряжений в конвейерном штреке 18-46 при пересечении зоны ПГД: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Стоит отметить, что проведение вышеуказанных исследований НДС массива горных пород в шахтах «Им. С.М. Кирова» и «Комсомолец» реализовано посредством непрерывной регистрации и обработки ИАС в процессе функционирования системы САКСМ.

Поэтому, в целях повышения объективности оценки НДС массива горных пород в зонах ПГД, дополнительно проведено детальное исследование характера распределения параметров ИАС методом акустических зондирований при импульсном воздействии на массив, неподверженный влиянию очистных работ.

3.1.2 Исследование особенностей НДС массива горных пород в зонах повышенного горного давления по параметрам ИАС методом акустических зондирований.

Выбранный порядок реализации акустических зондирований в целях исследования НДС массива горных пород в зонах ПГД по параметрам ИАС основана на наблюдениях в вентиляционном штреке 25-96 шахты «Им. С.М. Кирова», а именно:

1. наблюдения на защищенном участке пласта «Поленовский» и входе в зону ПГД (целик на пласте «Болдыревский»);
2. наблюдения при движении со стороны целика на пласте «Болдыревский» в защищенную часть пласта «Поленовский».

В первом случае, при наблюдениях на защищенном участке пласта и входе в зону ПГД, максимум коэффициента относительных напряжений K составил 2.4 ед. при фоновых 0.6 ед. и локализован при входе в зону на уровне створа остановленной лавы (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Распределение относительных напряжений по результатам акустических зондирований в вентиляционной печи 25-96 при подходе к зоне ПГД с защищенной стороны пласта: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Во втором случае, при наблюдениях в процессе движения со стороны целика в защищенную часть пласта, максимум коэффициента относительных напряжений K составил 8.4 ед. при фоновых 2.1 ед. и также расположен на

уровне створа лавы, от которого начата отработка пласта «Болдыревский» (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Распределение относительных напряжений по результатам акустических зондирований в вентиляционной печи 25-96 при переходе зоны ПГД от целика в защищенную часть пласта «Поленовский»: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Установлено, что динамика напряжений, характеризующаяся отношением максимальных и минимальных значений коэффициента относительных напряжений K , по результатам обоих исследований составила 4.0 ед. А столь высокое значение данного коэффициента при переходе зоны ПГД объясняется наличием отработанного поля пласта «Поленовский» с противоположной стороны целика.

Также установлено, что в зонах ПГД, обусловленных краевыми частями целика, максимальные напряжения на защищенном пласте сконцентрированы в краевой части целика.

Отдельно стоит отметить, что проведенные различными методами исследования по пересечениям зон ПГД позволили установить характер распределения параметров ИАС: значения коэффициента относительных напряжений K и отношения его максимальных и минимальных значений, полученные в процессе работы автоматизированной системы акустического контроля состояния массива (САКСМ) при движении очистных забоев,

приблизительно вдвое меньше значений, полученных по результатам локальных акустических зондирований. Данная особенность объясняется тем, что при локальных наблюдениях импульсное возбуждение происходит в неподверженном влиянию работающих механизмов массиве.

В таблицах 3.1 и 3.2 представлены детальные результаты анализа параметров ИАС при исследовании НДС массива горных пород в зонах ПГД в зависимости от характера воздействия на массив горных пород.

Таблица 3.1 Динамика относительных напряжений на участках пересечения зон ПГД очистными забоями (по результатам анализа непрерывно возбуждаемых ИАС в процессе функционирования САКСМ)

Горная выработка	Характер зоны ПГД	Коэффициент относительных напряжений <i>K</i> , ед.		
		Max	Min	$\frac{\text{Max}}{\text{Min}}$
Газодренажный штрек 25-03	Пересечение угла зоны ПГД (32 м)	1.52	0.65	2.3
Вентиляционная печь 25-101	От целика	1.1	0.65	1.7
Вентиляционный штрек 18-46	Ленточная зона ПГД (70 м)	1.4	0.75	1.9
Конвейерный штрек 18-46	Ленточная зона ПГД (70 м)	1.5	0.72	2.1
Конвейерный штрек 18-47	Ленточная зона ПГД (100 м)	1.06	0.62	1.6

Таблица 3.2. Динамика относительных напряжений на участках пересечения зон ПГД подготовительными забоями (по результатам локальных акустических зондирований)

Горная выработка	Характер зоны ПГД	Коэффициент относительных напряжений <i>K</i> , ед.		
		Max	Min	$\frac{\text{Max}}{\text{Min}}$
Вентиляционная печь 25-95	На зону ПГД	2.4	0.5	4.8
Водоспускной штрек 25-95	Ленточная зона ПГД (40 м)	2.3	1.0	2.3
Вентиляционная печь 25-96	На зону ПГД	2.4	0.6	4.0
Вентиляционная печь 25-96	От целика	8.4	2.1	4.0

Отношения максимальных и минимальных значений коэффициента K при движении очистного забоя в среднем составило – 1.9 ед, при локальных наблюдениях – 3.8 ед, что свидетельствует о существенном изменении НДС массива горных пород в зонах ПГД вне зависимости от способа возбуждения ИАС.

3.2 Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам ИАС при пересечении передовых горных выработок очистными забоями

В целях дальнейшего анализа особенностей НДС массива горных пород выполнены исследования, направленные на определение характера распределения параметров ИАС при пересечении передовых горных выработок очистными забоями.

Участки пересечения передовых выработок при ведении очистных работ являются потенциально удароопасными [120-122]. В соответствии с требованиями Инструкции по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений, для угольных пластов шахты «Им. С.М. Кирова» при приближении к передовым горным выработкам на расстояние около 70 м необходимо проводить мероприятия по предотвращению горных ударов. Для пластов шахты «Им. В.Д. Ялевского» данное расстояние составляет около 90 м [123].

Кроме того, в работе [124] отмечены факты увеличения горного давления при пересечении очистными забоями передовых горных выработок, что привело к образованию куполов обрушения с последующим обрушением пород кровли на высоту до 2-х метров. При этом отмечается, что именно применение автоматизированной системы мониторинга состояния призабойной части массива позволило бы выбирать оптимальный шаг обрушения и нагрузку на секции механизированной крепи.

Учитывая актуальность данной проблемы, мониторинг массива горных пород, направленный на определение параметров ИАС при пересечении

передовых выработок в процессе ведения очистных работ, реализован в диагональном просеке 50-05-2 лавы 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского» (рис. 3.7) и в промежуточном штреке 25-101 лавы 25-101 шахты «Им. С.М. Кирова» (рис. 3.8).

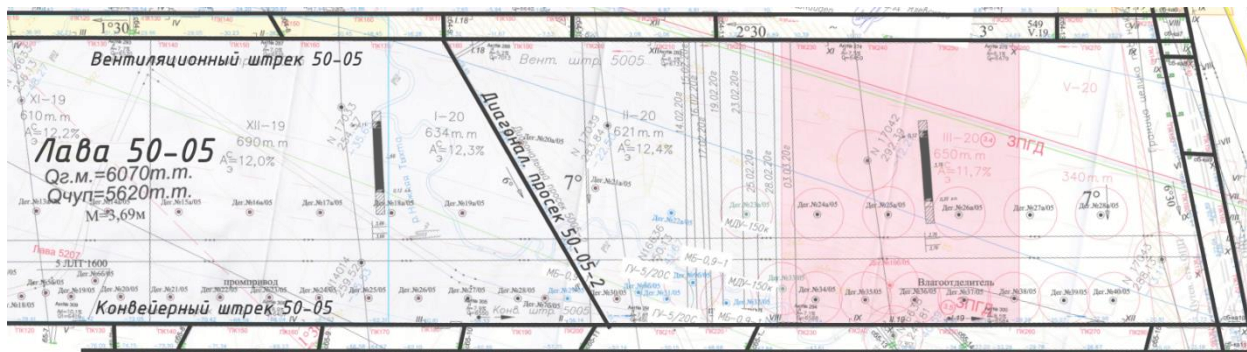


Рисунок 3.7 – План горных работ по угольному пласту «50» ш. «Им. В.Д. Ялевского» в зоне расположения диагонального просека 50-05-2

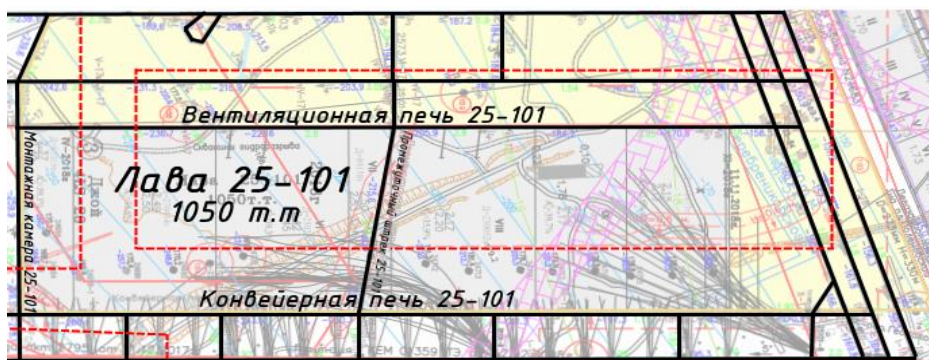


Рисунок 3.8 – План горных работ по угольному пласту «Поленовский» ш. «Им. С.М. Кирова» в зоне расположения промежуточного штрека 25-101

Установлено, что при пересечении диагонального просека 50-05-2 очистным забоем (под углом 50°) в районе конвейерного штрека максимальное значение коэффициента относительных напряжений K составило 1.1 ед. на расстоянии около 7-8 метров от данной передовой выработки. При этом, непосредственно в зоне расположения передовой выработки зафиксированы минимальные напряжения по всему профилю наблюдений ($K = 0.3$ ед.), а после ее пересечения, на расстоянии около 8-9 м, коэффициент относительных напряжений K увеличился до 1.4 ед. (рис. 3.9).

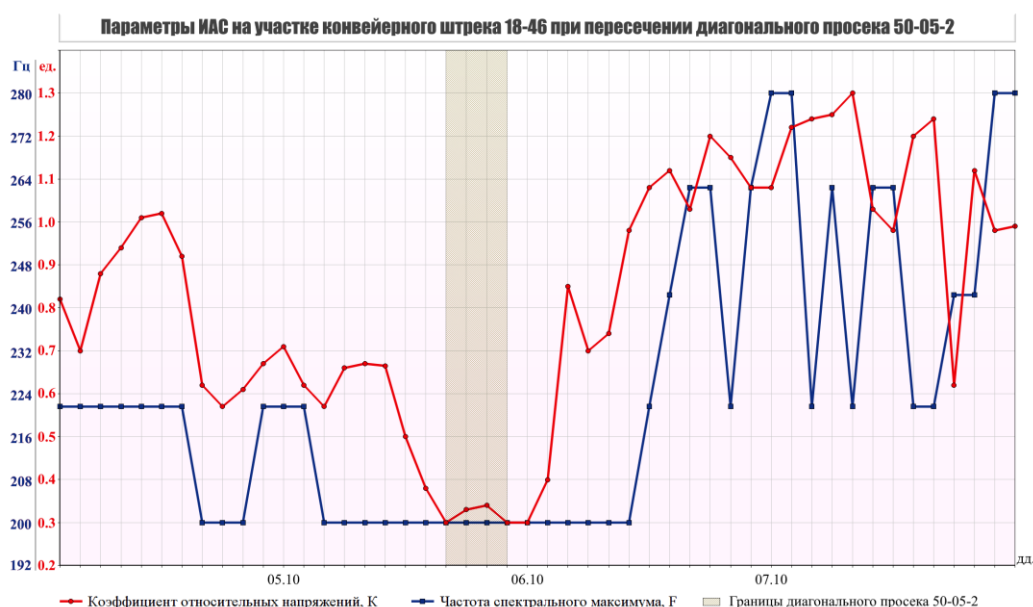


Рисунок 3.9 – Распределение параметров ИАС на участке конвейерного штрека при пересечении диагонального просека 50-05-2 ш. «Им. В.Д. Ялевского»: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и частоты спектрального максимума f (Гц); по горизонтали – временная шкала

Частота спектрального максимума F (Гц) при пересечении диагонального просека 50-05-2 изменяется от 200 до 280 Гц.

По результатам аналогичного исследования, проведенного при пересечении очистным забоем промежуточного штрека 25-101 (под углом 80°) шахты «Им. С.М. Кирова», установлено, что в районе вентиляционной печи максимальное значение коэффициента относительных напряжений K составило 1.2 ед на расстоянии около 12 м от данной передовой выработки. При этом, непосредственно в зоне расположения передовой выработки зафиксированы минимальные напряжения по всему профилю наблюдений ($K = 0.5$ ед.), а после отхода от нее, на расстоянии около 8 м, значение коэффициента относительных напряжений K увеличилось до 1.05 ед., что сопоставимо с результатами ранее проведенного исследования в иных горно-геологических условиях (рис. 3.10).

Частота спектрального максимума F (Гц) при пересечении промежуточного штрека 25-101 изменяется от 120 до 560 Гц.



Рисунок 3.10 – Распределение параметров ИАС на участке вентиляционной печи при пересечении промежуточного штрека 25-101 ш. «Им. С.М. Кирова»: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и частоты спектрального максимума f (Гц); по горизонтали – временная шкала

Исследования в рассмотренных горно-геологических условиях позволили установить, что при пересечении очистными забоями передовых горных выработок:

- минимальные значения коэффициента относительных напряжений K и частоты спектрального максимума F по профилю наблюдений совпадают с пересекаемыми выработками;

- максимальные значения коэффициента относительных напряжений K локализуются слева и справа от горной выработки (в пределах 15 м), при этом отношение максимальных значений к минимальным, отражающее динамику напряжений в целом, для угольных пластов мощностью 4 м составляет, в основном, 2-5 ед., а для менее мощных пластов – в диапазоне от 1.5 до 3 ед.

Минимальные значения коэффициента относительных напряжений K , зафиксированные непосредственно в пределах пересекаемых выработок, обусловлены локальной разгрузкой в приконтурной части массива вследствие увеличения дальности максимальных расслоений пород кровли пласта и относительно равномерного воздействия на крепь и краевую часть пласта.

При этом величина локальной пригрузки в данных зонах, как правило, не превышает фоновых значений (на которые следует ориентироваться при оценке относительных напряжений) коэффициента K более чем в 2 раза.

Соответственно, опасность пересечения передовых горных выработок зависит от степени разупрочнения пород, оценку которых можно производить по отношению максимальных и минимальных значений коэффициента относительных напряжений K .

Полученные результаты свидетельствуют о незначительных по интенсивности пригрузках и размерах зон их влияния, что указывает на нецелесообразность заблаговременного выполнения мероприятий по предотвращению горных ударов в исследованных горно-геологических условиях.

3.3 Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам ИАС при пересечении очистными забоями сбоек оконтуривающих горных выработок

В целях дальнейшего анализа особенностей НДС массива горных пород выполнены исследования, направленные на определение характера распределения параметров ИАС при пересечении очистными забоями сбоек оконтуривающих горных выработок.

Мониторинг массива горных пород, направленный на определение параметров ИАС при пересечении сбоек оконтуривающих горных выработок, реализован в лавах 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского» и 18-46 шахты «Комсомолец».

Так, в лаве 50-05 минимальное значение коэффициента относительных напряжений K установлено непосредственно в пределах пересекаемой сбойки ($K = 0.2$ ед.), но за границами данной сбойки установлены максимальные относительные напряжения ($K = 1.39$ ед.) (рис. 3.11).

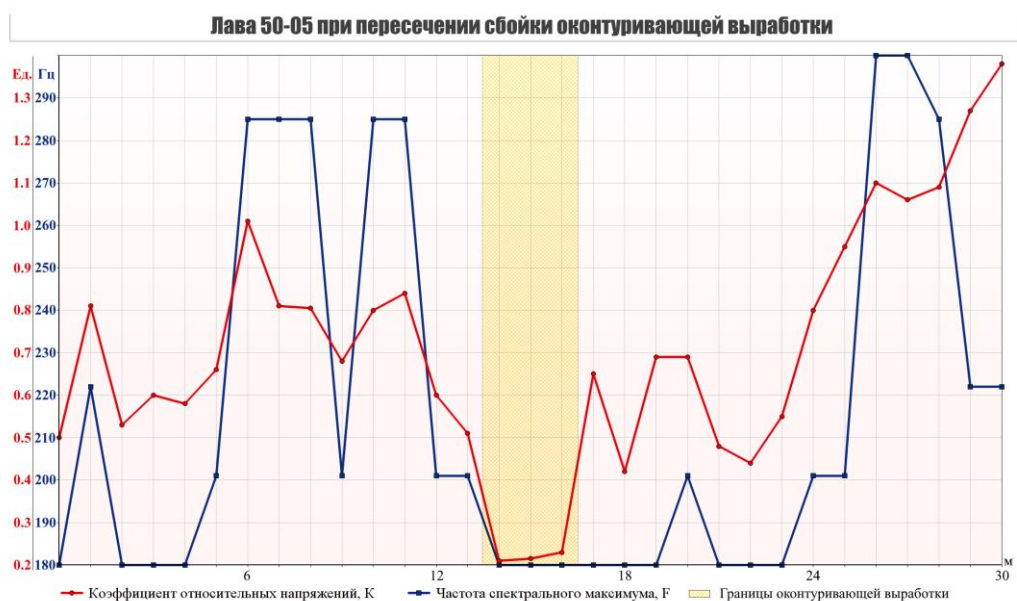


Рисунок 3.11 – Распределение параметров ИАС при пересечении очистным забоем лавы 50-05 сбойки оконтуривающей выработки: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и частоты спектрального максимума f (Гц); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

В данном случае отношение максимального и минимального значений коэффициента K , отражающее динамику напряжений в целом, составило 7.0 ед. Полученный результат в 1.5 раза превышает установленные фоновые значения. При этом значения частоты спектрального максимума F варьируются от 180 до 300 Гц.

По результатам аналогичного исследования в лаве 18-46 установлено, что минимальное значение коэффициента относительных напряжений K также локализовано непосредственно в пределах пересекаемой сбойки, ограниченной его максимальными значениями вплоть до $K = 1.5$ ед. Динамика напряжений, определяемая отношением максимальных и минимальных значений коэффициента K , составила 2.7 ед., что в 2 раза превышает установленные фоновые значения (рис. 3.12).

При этом значения частоты спектрального максимума F изменяются в пределах от 40 до 510 Гц.

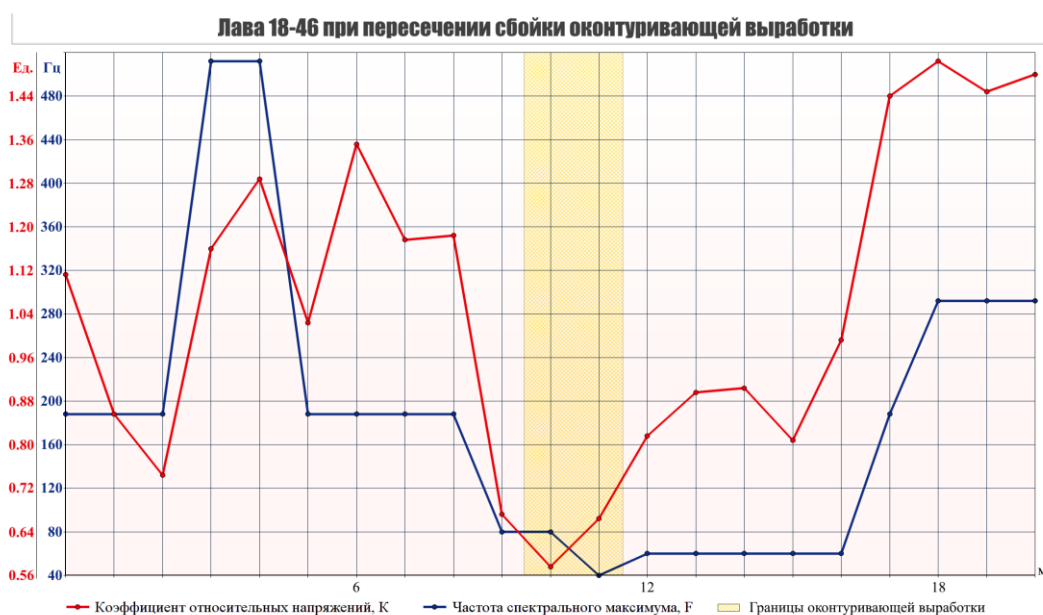


Рисунок 3.12 – Распределение параметров ИАС при пересечении очистным забоем лавы 18-46 сбойки оконтуривающей выработки: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и частоты спектрального максимума f (Гц); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Результаты исследований в данных горно-геологических условиях указывают на то, что распределение параметров ИАС при пересечении сбоек конвейерных и вентиляционных штреков в лавах вышеуказанных шахт в целом сопоставимо с результатами исследований, полученными ранее при пересечении передовых горных выработок.

Основное установленное отличие в характере распределения ИАС при пересечении сбоек оконтуривающих выработок от ранее проведенного исследования при пересечении передовых выработок заключается в локальных проявлениях аномальных значений параметров ИАС.

Данное исследование подтверждает объективность оценки напряженно-деформированного состояния призабойной части массива по параметрам ИАС, а также определения опасности пересечения сбоек оконтуривающих горных выработок, которая связана со степенью разупрочнения горных пород в приконтурной их части, оценку которой возможно производить на основе отношения максимальных и минимальных значений коэффициента относительных напряжений K .

3.4 Исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород по параметрам ИАС в зонах влияния геологических нарушений

Зоны крупных пликативных и дизъюнктивных тектонических нарушений формируют потенциальную опасность возникновения внезапных выбросов, а также необходимость непрерывного мониторинга за эффективностью анкерного крепления [125, 126].

Значительное снижение темпов добычи угля и общей безопасности ведения горных работ может быть вызвано ввиду повышения интенсивности газовыделения и трещиноватости пород, а также снижения их прочности и устойчивости в зонах влияния геологических нарушений [127-130].

В качестве геологических нарушений, в зоны влияния которых попадают объекты шахты «Им. С.М. Кирова», выступают дизъюнктивные со смещением угольного пласта или зонами повышенной трещиноватости, а также пликативные, преимущественно выраженные осью Ленинской синклинали с пологими углами крыльев, что обуславливает изменения НДС массива в данных зонах.

Разработанный метод контроля НДС призабойной части массива позволяет устанавливать данные изменения по динамике параметров ИАС. Результаты многочисленных исследований в различных горно-геологических условиях свидетельствуют о том, что среди параметров ИАС наиболее информативными для анализа и демонстрации объективности оценки НДС массива являются: коэффициент относительных напряжений K (ед.), частота спектрального максимума F (Гц) и суммарная энергия резонансных частот E (отн. ед.).

Учитывая установленную при проведении исследований в различных горно-геологических условиях стабильность и достоверность значений вышеуказанных параметров, что явилось возможным ввиду представительного объема обрабатываемой информации (регистрация 20 спектров ИАС за 1 секунду), предлагается «усовершенствование»

коэффициента прогноза геологических нарушений впереди движущегося забоя P_g (у. е.), вычисляемого в каждом цикле регистрации и обработки искусственного акустического сигнала:

$$P_g = \frac{K_B}{K_f} + \frac{F_p}{F_f} \quad (3.1)$$

где K_B и F_p – текущие значения коэффициента относительных напряжений K и частоты спектрального максимума F в цикле регистрации и обработки ИАС; K_f и F_f – фоновые значения, для определения которых предлагается учитывать 25 предшествующих значений данных параметров, а именно путем усреднения 3-х минимальных значений в рамках данных последних 25 циклов.

Предполагается, что данная мера в том числе позволит проводить более детальную оценку «поведения» геологических нарушений на объектах ведения горных работ.

Проверка эффективности данной конфигурации коэффициента прогноза геологических нарушений для решения задач мониторинга массива горных пород в том числе реализована при проведении исследований на объектах угольных шахт в зонах влияния различных геологических нарушений.

3.4.1 Исследование особенностей НДС массива горных пород в зонах влияния геологических нарушений в лаве 25-101 шахты «Им. С.М. Кирова»

Лавой 25-101 шахты «Им. С.М. Кирова» отрабатывался угольный пласт «Поленовский», при этом при отходе от монтажной камеры в районе вентиляционной печи выемка угля осуществлялась в условиях отработки одиночного пласта, а после пересечения зоны ПГД, на большей части забоя, - при эффективной защите. В районе конвейерной печи, при отходе от монтажной камеры, выемка угля велась в зоне ПГД, осложненной геологическим нарушением, в последующем – вдоль ленточной зоны ПГД (рис. 3.13).

Реализация добычных операций в данных горно-геологических условиях также осложнялась наличием локальных участков пониженной устойчивости пород кровли, обусловленной пластовой отдельностью и зонами повышенной

трещиноватости, что не исключает внезапного обрушения пород кровли на высоту до 1 м.

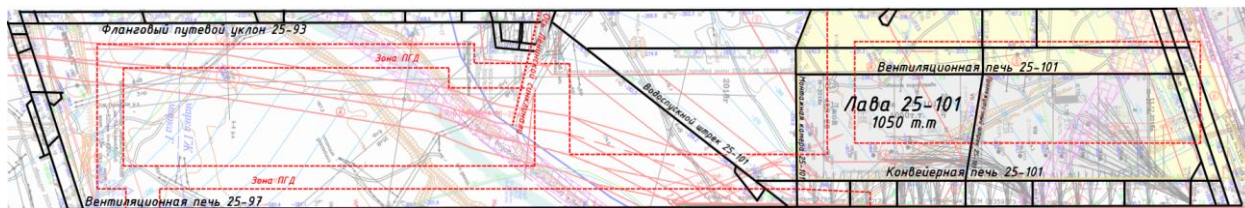


Рисунок 3.13 – План горных работ по лаве 25-101 (угольный пласт «Поленовский» шахты «Им. С.М. Кирова»)

Поле шахты «Им. С.М. Кирова» расположено в пределах Ленинской синклинали, которая представляет собой широкую складку с асимметричными крыльями и пологой мульдой [131, 132]. Углы падения пластов в центральной ее части изменяются от 0° до 10° .

Дизъюнктивная нарушенность шахтного поля определяется наличием региональных взбросов: Кильчигизского и Южно-Журинского, которые служат естественными границами шахты. Апофизом Южно-Журинского взброса является Восточно-Камышанский взброс, который падает на него под углами от 10 до 30° со смещением угольного пласта на 10-30 м.

Монтажная камера лавы 25–101 расположена вблизи Восточно-Камышанского взброса, его апофиз со смещением пласта до 0.5 м заходит в пределы лавы и быстро затухает. В районе промежуточного штрека 25–101 и вдоль него вскрыто геологическое нарушение со смещением пласта до 1.5 м с затуханием от вентиляционной печи к конвейерной.

В конвейерной печи 25–101 пересечение затухающего апофиза Восточно-Камышанского взброса происходило при отходе от монтажной камеры, а также вблизи промежуточного штрека 25–101. В вентиляционной печи 25–101 пересечение нарушения происходило вдоль промежуточного штрека, по которому смещение пород в лаве достигало 1.5 м, что оказывало влияние на динамику напряжений вблизи вентиляционной печи.

Наиболее интенсивные аномальные значения параметров ИАС зафиксированы при пересечении нарушения конвейерной печью 25–101 (рис. 3.14). Перед входом в зону влияния геологического нарушения призабойная

часть массива характеризуется определенной разгрузкой ввиду функционирования монтажной камеры, максимальное значение коэффициента относительных напряжений K составило 3.6 ед. при фоновых – 0.9 ед., при этом максимальное значение коэффициента прогноза геологических нарушений P_g составило 6.8 у.е. при пороговом уровне для данных условий – 6.4 у.е.

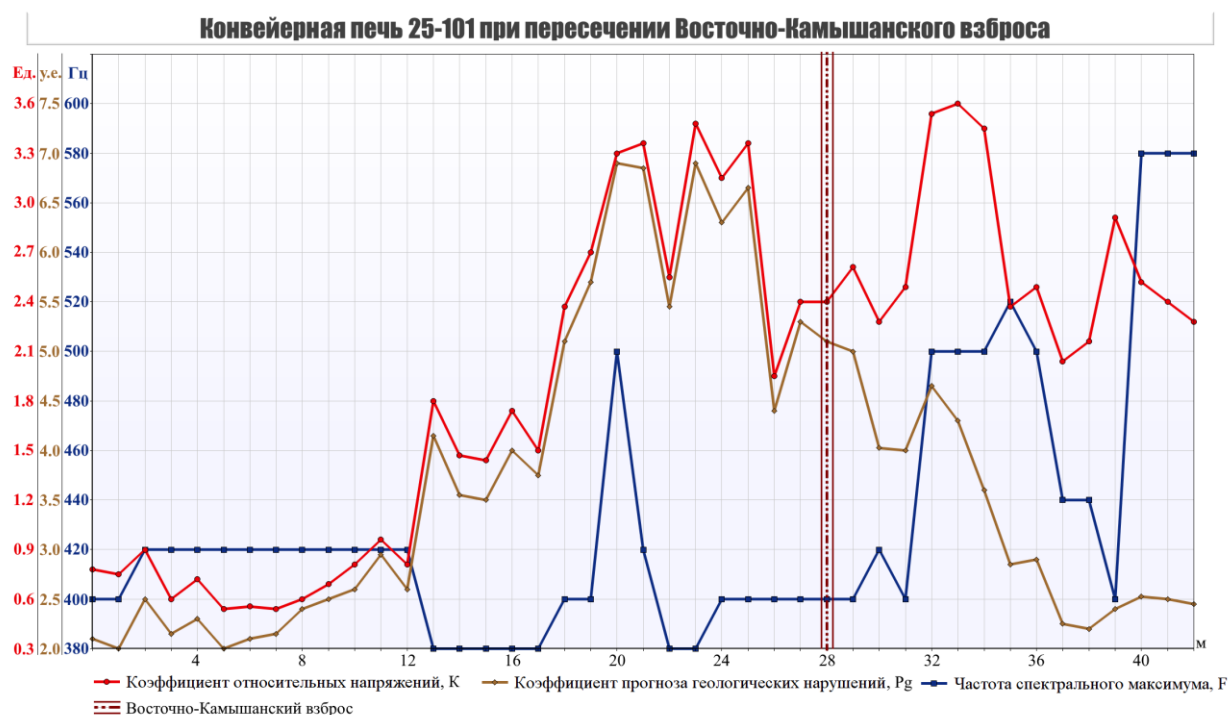


Рисунок 3.14 – Распределение параметров ИАС в конвейерной печи 25-101 при пересечении Восточно-Камышанского взброса: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.), частоты спектрального максимума f (Гц) и коэффициента прогноза геологических нарушений P_g (у.е.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

При пересечении геологического нарушения вдоль промежуточного штрека 25-101 динамика относительных напряжений значительно снизилась: максимум коэффициента относительных напряжений K в конвейерной печи 25-101 составил 1.33 ед. на фоне 0.8 ед., а в вентиляционной печи 25-101 максимум достиг 1.04 ед. на фоне 0.7 ед. Данная особенность распределения относительных напряжений обусловлена следующими факторами: эффективная защита пласта надработкой и возвратно-поступательные

движения максимума опорного давления при движении очистного забоя, разгружающие призабойную часть массива горных пород.

Превышения порогового уровня коэффициента прогноза геологических нарушений P_g (в 2-3 раза относительно фона) повторялись по мере движения очистного забоя, в средней части которого проявилось геологическое нарушение с амплитудой смещения угольного пласта до 0.6 м, что указывает на подтверждение связи данного параметра с особенностями «поведения» геологического нарушения (изменение его направления, угла падения и т.д.). Также, в процессе данных исследований в лаве 25–101, установлено, что в интервалах роста коэффициента прогноза геологических нарушений P_g увеличивались напряжения в массиве.

3.4.2 Исследование особенностей НДС массива горных пород в зонах влияния геологических нарушений в лаве 24-60 шахты «Им. С.М. Кирова»

Дальнейшее исследование особенностей напряженно-деформированного состояния массива горных пород при пересечении геологических нарушений выполнено на основе анализа процесса отработки угольного пласта «Болдыревский» лавой 24-60 шахты «Им. С.М. Кирова» (рис. 3.15).

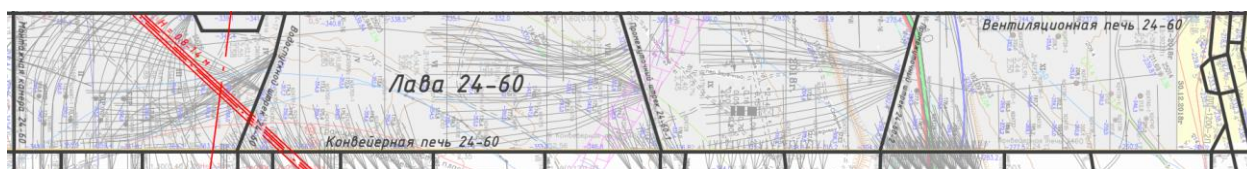


Рисунок 3.15 – План горных работ по лаве 24-60 (угольный пласт «Болдыревский» шахты «Им. С.М. Кирова»)

В данных горно-геологических условиях очистной забой пересекал дизъюнктивное нарушение со смещением угольного пласта до 1.4 м в районе конвейерной печи 24-60. Пересечение данного геологического нарушения привело к вскрытию зоны повышенной трещиноватости, в которой в процессе проведения подготовительных горных выработок происходили обрушения пород кровли на высоту до 3 м.

Установленное при этом распределение информативных параметров ИАС представлено на рисунке 3.16.

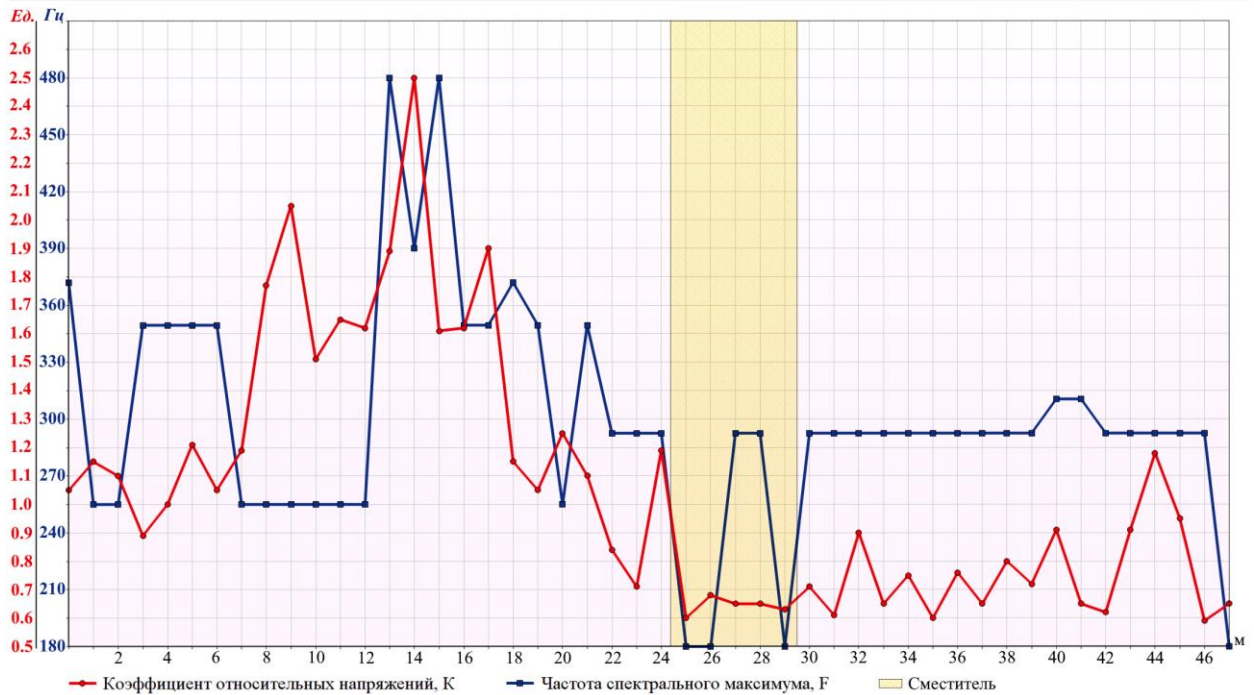


Рисунок 3.16 – Распределение параметров ИАС в конвейерном штреке 24-60 при пересечении геологического нарушения: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и частоты спектрального максимума f (Гц); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Проведенный анализ параметров ИАС в данных горно-геологических условиях показал, что по мере приближения к сместителю в значительной степени изменялась динамика коэффициента относительных напряжений K (от 0.9 до 2.5 ед.), при этом максимальные расслоения в породах кровли локализовались на расстоянии около 5 м от угольного пласта, а максимальное значение коэффициента прогноза геологических нарушений P_g составило 5.4 (у.е.). Непосредственно при пересечении сместителя значение коэффициента относительных напряжений K снизилось до 0.6 ед., а максимальные расслоения сместились на удаление до 14 м от угольного пласта. Установленная асимметрия значений коэффициента относительных напряжений K относительно сместителя объясняется приближением к геологическому нарушению под углом около 45° в районе конвейерной печи при постепенном изменении НДС массива.

3.4.3 Исследование особенностей НДС массива горных пород при пересечении Восточно-Камышанского взброса вентиляционным штреком 25-04 шахты «Им. С.М. Кирова»

Проведено исследование особенностей НДС массива горных пород по параметрам ИАС при пересечении Восточно-Камышанского взброса вентиляционным штреком 25-04 (угольный пласт «Поленовский») под углом около 60° (рис. 3.17).

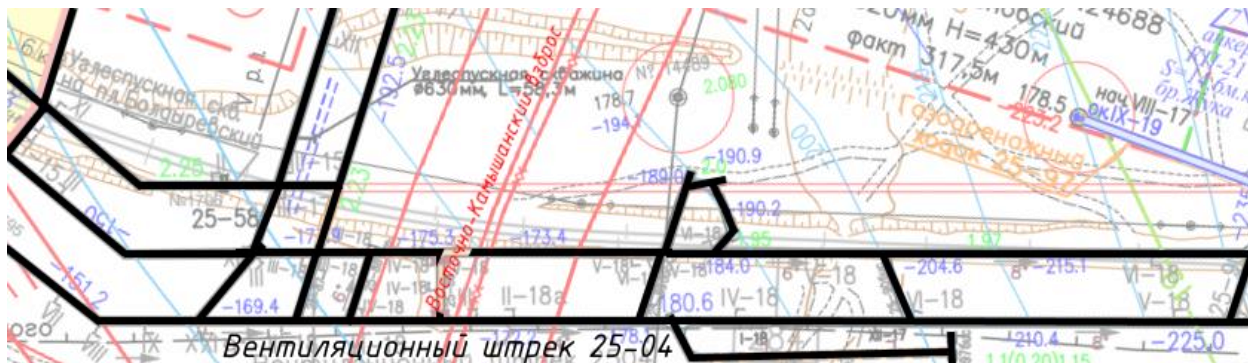


Рисунок 3.17 – План горных работ по угольному пласту «Поленовский» в зоне расположения вентиляционного штрека 25-04

В данном случае при подходе к геологическому нарушению проведение выработки осуществлялось по породе, а после пересечения сместителя – по углю. Угол падения сместителя – 20° , смещение пласта по нему – до 30 м.

Распределение параметров ИАС, установленное при исследовании в зоне пересечения Восточно-Камышанского взброса вентиляционным штреком 25-04, отмечено значительной динамикой коэффициента относительных напряжений K (от 0.3 до 3.3 ед.), а также частоты спектрального максимума F (от 120 до 480 Гц), что указывает на смещение положения максимальных расслоений пород кровли в диапазоне от 20.8 до 5.2 м относительно угольного пласта (рис. 3.18). Также стоит отметить увеличение коэффициента прогноза геологических нарушений P_g до максимальных значений (11.0 у.е) непосредственно в зоне геологического нарушения.



Рисунок 3.18 – Распределение параметров ИАС в вентиляционном штреке 25-04 при пересечении Восточно-Камышанского взброса: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.), частоты спектрального максимума F (Гц) и коэффициента прогноза геологических нарушений P_g (у.е.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Существенное отличие значений вышеуказанных параметров и их динамики от установленных ранее в зоне разрывных нарушений обусловлено иным характером смещения угольного пласта и углом наклона сместителя Восточно-Камышанского взброса.

3.4.4 Исследование особенностей НДС массива горных пород при пересечении оси Ленинской синклинали вентиляционной печью 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова»

Проведено исследование особенностей НДС массива горных пород по параметрам ИАС при пересечении оси Ленинской синклинали вентиляционной печью 24-62 под углом около 80° по пласту «Болдыревский» шахты «Им. С.М. Кирова» (рис. 3.19).

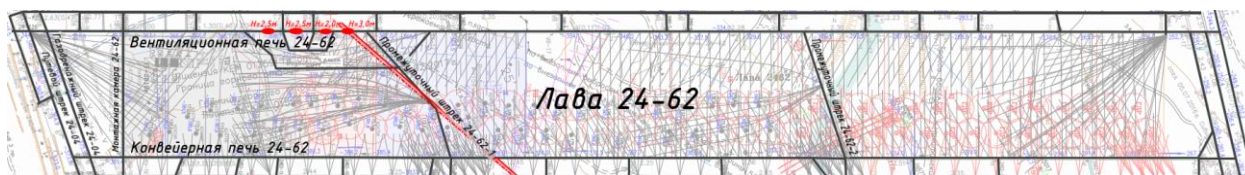


Рисунок 3.19 – План горных работ по лаве 24-62 (угольный пласт «Болдыревский») шахты «Им. С.М. Кирова»

По результатам проведенного исследования в данных горно-геологических условиях установлено более симметричное распределение значений коэффициента относительных напряжений K относительно оси синклинали: максимумы по обе стороны варьируются в пределах от 1.2 до 1.3 ед. (рис. 3.20).

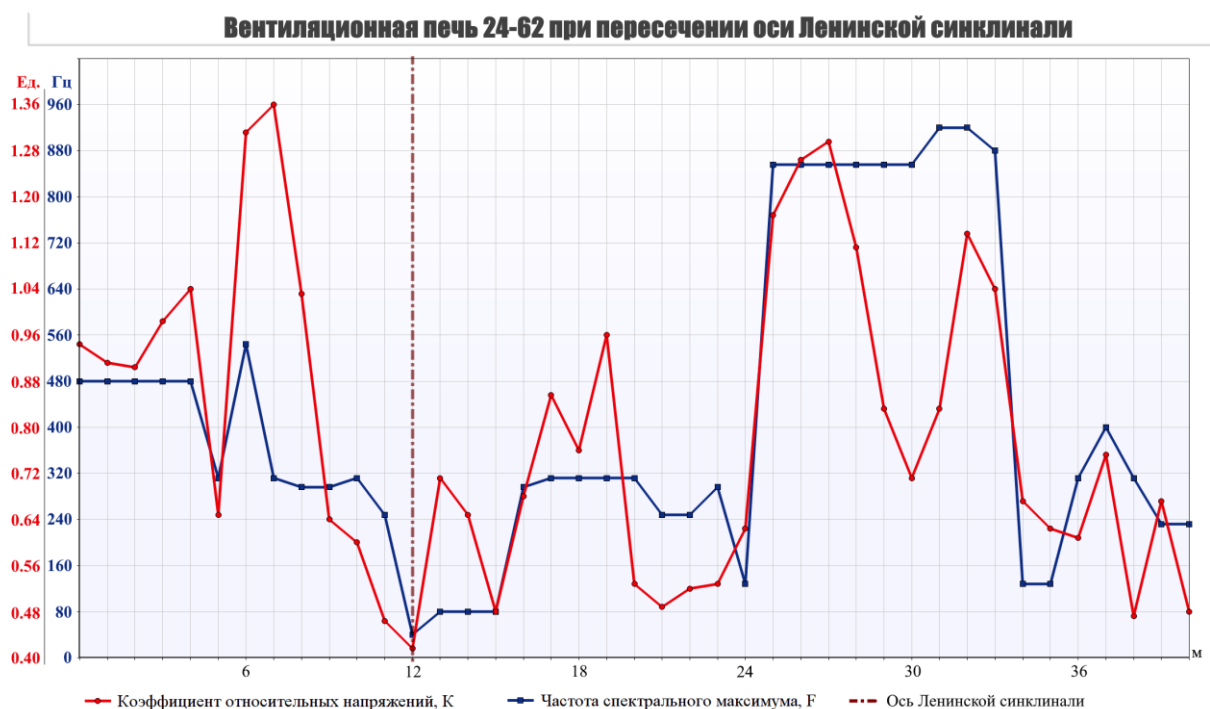


Рисунок 3.20 – Распределение параметров ИАС в вентиляционной печи 24-62 при пересечении оси Ленинской синклинали: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и частоты спектрального максимума f (Гц); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

При этом в районе оси синклинали частота спектрального максимума F , отражающая положение ослабленных межслоевых контактов, уменьшается до 80 Гц (удаленность контактов около 30 м от угольного пласта) ввиду повышенной трещиноватости и снижения несущей способности пласта, а на

участке приближения и отхода от оси значения F достигают 320 Гц, что соответствует удаленности на 8 м от пласта.

3.4.5 Исследование особенностей НДС массива горных пород на участке движения очистного забоя в зоне размыва угольного пласта «Поленовский» шахты «Им. С.М. Кирова»

Характер распределения информативных параметров ИАС, по которым проводится оценка НДС массива горных пород в соответствии с разработанным методом, также исследован в вентиляционной печи лавы 25-95 шахты «Им. С.М. Кирова» на участке движения забоя в зоне размыва угольного пласта (рис. 3.21).



Рисунок 3.21 – План горных работ по лаве 25-95 (угольный пласт «Поленовский») шахты «Им. С.М. Кирова»

Размыв угольного пласта «Поленовский» распространен на 1/3 длины очистного забоя.

Распределение коэффициента относительных напряжений K в данной зоне выражено следующим образом: границы размыва отмечены минимальными значениями (0.2 ед. – на входе и 0.4 ед. – на выходе), при этом в средней части размыва установлено максимальное значение – 1.8 ед. (рис. 3.22).

Что касается динамики коэффициента прогноза геологических нарушений P_g , то максимальные его значения установлены при подходе к зоне размыва (4.2 у.е. при фоновых 1.3–1.5 у.е.).

Апофизы данного размыва угольного пласта «Поленовский» в районе вентиляционной печи 25-95 существенно осложняли проведение операций по выемке угля на протяжении полутра месяцев подвигания забоя.



Рисунок 3.22 – Распределение параметров ИАС в вентиляционной печи 24-95 в зоне размыва угольного пласта: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и коэффициента прогноза геологических нарушений P_g (у.е.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

3.4.6 Общие статистические данные по итогам проведенных исследований, направленных на установление особенностей распределения информативных параметров ИАС в зонах влияния различных геологических нарушений

Детальное распределение параметров ИАС, установленных при проведении вышеописанных, а также аналогичных шахтных исследований в зонах влияния геологических нарушений различного типа, представлено в таблицах 3.3 и 3.4.

Рассмотренные дизъюнктивные нарушения, за исключением Восточно-Камышанского взброса, относятся к категории мелкоамплитудных нарушений. В их пределах динамика относительных напряжений (отношение максимальных и минимальных значений коэффициента K) в среднем составила 3.0 ед. Сравнительно, динамичность относительных напряжений при пересечении Восточно-Камышанского взброса вентиляционным штреком 25-04 составила 10 ед.

Также установлено, что значения коэффициента прогноза геологических нарушений P_g в подготовительных забоях варьируются от 11 до 22 у. е., однако при пересечении геологических нарушений очистными забоями значения данного параметра, как правило, снижаются за счет широкого фронта воздействия на массив горных пород при проведении операций по выемке угля. Отдельно стоит отметить динамичность относительных напряжений при пересечении пликтивных нарушений (средние значения – 4.4 ед.), что объясняется значительными размерами зоны их влияния (см. таблица 3.3).

Таблица 3.3 Параметры искусственного акустического сигнала в зонах влияния пликтивных нарушений в очистных и подготовительных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Горная выработка	Характеристика геологического нарушения	Коэффициент относительных напряжений <i>K</i> , ед.			Частота спектрального максимума <i>F</i> , Гц		Коэффициент прогноза геологических нарушений (max) <i>P_g</i> , ед.
		Max	Min	$\frac{\text{Max}}{\text{Min}}$	Max	Min	
Пликативные нарушения							
Конвейерная печь 24-60	Ось Ленинской синклинали	0.92	0.4	2.3	510	180	5.5
Вентиляционная печь 24-60	Ось Ленинской синклинали	2.15	0.55	3.9	80	42	5.5
Вентиляционная печь 25-94	Флексура пласта	2.8	1.0	2.8	700	80	9.0
Вентиляционная печь 25-95	Размыв пласта	1.53	0.34	4.5	180	60	4.2
Вентиляционная печь 25-95	Ось Ленинской синклинали	2.1	0.45	4.7	560	80	2.9
Вентиляционный штрек 18-46	Ось Ленинской синклинали	1.4	0.35	4.0	700	250	2.4
Вентиляционный штрек 18-46	Ось Ленинской синклинали	3.4	0.6	5.7	460	60	2.6
Вентиляционный штрек 50-05	Ось Ленинской синклинали	3.0	0.45	6.7	320	40	3.1

Таблица 3.4 Параметры искусственного акустического сигнала в зонах влияния дизъюнктивных нарушений в очистных и подготовительных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Горная выработка	Характеристика геологического нарушения	Коэффициент относительных напряжений <i>K</i> , ед.			Частота спектрального максимума <i>F</i> , Гц		Коэффициент прогноза геологических нарушений (max) <i>P_g</i> , ед.
		Max	Min	$\frac{\text{Max}}{\text{Min}}$	Max	Min	
Дизъюнктивные нарушения							
Конвейерная печь 24-57	Подход к ВКВ ¹	1.5	0.5	3.0	760	40	22.0
Конвейерная печь 24-60	Разрывное нарушение h = 0.2 ÷ 0.9 м	1.5	0.5	3.0	300	100	6.5
Конвейерная печь 24-60	Разрывное нарушение h = 1.4 м	2.5	0.65	3.8	510	180	5.4
Конвейерная печь 24-62	Разрывное нарушение h = 1.0 м	1.15	0.45	2.6	320	180	3.3
Конвейерная печь 24-60	Разрывное нарушение h = 1.0 м	1.3	0.72	1.8	120	100	7.5
Вентиляционный штрек 25-04	Разрывное нарушение h = 30.0 м, <i>α</i> = 20°	3.3	0.3	10.0	450	120	11.0
Середина лавы 25-94	Разрывное нарушение h = 8.0 м	1.9	0.8	2.4	900	80	10.5
Вентиляционная печь 25-95	Разрывное нарушение h = 0.3 м	1.8	0.5	3.6	560	180	4.2
Конвейерная печь 25-101	Разрывное нарушение h = 1.5 м	1.7	0.5	3.4	580	380	4.5

¹ - Восточно-Камышанский взброс.

Возможность применения коэффициента прогноза геологических нарушений P_g для оценки особенностей размыва угольного пласта и флексуры обеспечена ввиду его соизмеримости с параметром, характеризующим разрывные нарушения.

Установленные минимальные значения коэффициента относительных напряжений K непосредственно в осях Ленинской синклинали обусловлены определенной локальной разгрузкой массива в зоне повышенной трещиноватости.

Выводы по третьей главе:

1. Установлены особенности распределения параметров ИАС в зонах ПГД в зависимости от характера воздействия на массив горных пород: возбуждение ИАС в массиве при проведении операций по выемке угля характеризуется меньшими значениями коэффициента относительных напряжений K в сравнении с импульсным воздействием на массив, который не подвержен влиянию добычных работ. В целом же результаты исследований свидетельствуют о существенном изменении НДС массива горных пород в зонах ПГД вне зависимости от способа возбуждения ИАС. Установлено, что при эффективной надработке защитное действие в очистной выработке распространяется за пределы установленных границ, что в значительной степени снижает негативное воздействие ленточных зон ПГД, сформированных вдоль поддерживаемых горных выработок на защитном пласте.

2. При пересечении очистными забоями передовых горных выработок минимальные значения информативных параметров ИАС локализуются непосредственно в зоне пересекаемых выработок, что указывает на локальную разгрузку в приконтурной части массива вследствие увеличения дальности максимальных расслоений пород кровли пласта и относительно равномерного воздействия на крепь и краевую часть пласта. При этом величина локальной пригрузки, отражающаяся в значениях коэффициента относительных напряжений K , не превышает фоновые значения более чем в 2 раза, что указывает на незначительную интенсивность пригрузки (в условиях отработки защитного пласта) и нецелесообразность выполнения превентивных мероприятий по предотвращению горных ударов в исследованных горно-геологических условиях. Однако, данный характер распределения

коэффициента относительных напряжений K , наряду с зафиксированным уменьшением частоты спектрального максимума F более чем в 4 раза, свидетельствует о сохранении опасности блоковых обрушений пород на участках непосредственного перехода выработок.

3. По результатам исследований установлено, что опасность проявления негативных геодинамических явлений при пересечении очистными забоями передовых горных выработок и сбоек оконтуривающих горных выработок зависит от степени разупрочнения горных пород в приконтурной их части, эффективную оценку которой возможно производить на основе отношения максимальных и минимальных значений коэффициента относительных напряжений K .

4. Установлено, что чередование максимальных и минимальных значений коэффициента относительных напряжений K по профилю наблюдений указывает на интенсивное развитие межслоевых деформаций в массиве горных пород и повышение степени опасности обрушения пород кровли в призабойной части массива.

5. Установлено, что минимальные значения коэффициента относительных напряжений K локализуются непосредственно в осях Ленинской синклинали, что обусловлено определенной локальной разгрузкой массива горных пород вследствие интенсивного развития межслоевых деформаций и повышенной трещиноватостью в зоне влияния нарушения, вскрытие которого подготовительными забоями шахты «Им. С.М. Кирова» привело к обрушениям пород кровли.

6. По мере приближения очистного забоя к пликативным нарушениям в значительной степени изменяется динамика частоты спектрального максимума F : максимальные расслоения в породах кровли локализуются на минимальном расстоянии от угольного пласта, а непосредственно при пересечении данных нарушений максимальные расслоения смещаются на удаленные от пласта расстояния ввиду повышенной трещиноватости и снижения несущей способности пласта. Также на динамику значений

параметров ИАС влияют степень смещения угольного пласта и угол пересечения геологического нарушения.

7. Предложено определять фоновые значения коэффициента прогноза геологических нарушений P_g путем усреднения 3-х минимальных значений из 25 предшествующих циклов регистрации и обработки ИАС. Эффективность данного подхода к локализации и определению характера «поведения» геологических нарушений подтверждена исследованиями в различных очистных горных выработках. Установлено, что объективность применения данного коэффициента обеспечивается установлением его пороговых значений индивидуально для каждого отдельных горно-геологических условий.

8. Установлено, что в зонах влияния дизъюнктивных нарушений динамичность относительных напряжений значительно меньше, чем при пересечении пликтивных нарушений, что объясняется значительными размерами зон влияния последних. Исключение составляет Восточно-Камышанский взброс, при пересечении которого вентиляционным штреком 25-04 шахты «Им. С.М. Кирова» динамичность относительных напряжений в 3 раза превысила среднее значение по исследованным дизъюнктивным нарушениям и в 2 раза – по пликтивным (ввиду значительного смещения пласта и угла падения сместителя).

ГЛАВА 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ ПОСАДКИ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС» ПО ПАРАМЕТРАМ ИСКУССТВЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Одной из наиболее актуальных задач мониторинга состояния массива горных пород, подверженного влиянию добычных работ, является прогноз участков посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт в целях обеспечения безопасности и непрерывности технологических процессов.

Вышеуказанная актуальность прежде всего продиктована статистикой аварийности, обусловленной внезапным обрушением пород кровли в зонах ее посадки. За последнее десятилетие на отечественных угледобывающих предприятиях из общего количества аварий и инцидентов, связанных с ГДЯ, - 76.5% приходится на обрушения пород кровли, при этом с 1991 года всего произошло 407 обрушений, 264 или 65% из которых – в угольных шахтах Кузбасса [133, 134].

Процесс посадки пород основной кровли приводит к изменению НДС призабойной части массива горных пород, с которым связаны внезапные обрушения, повышенные газовыделения в горных выработках, а также повышение опасности возникновения эндогенных пожаров при определенных условиях [20, 135, 136].

Традиционный подход к прогнозированию процесса посадки кровли, преимущественно, сводится к аналитическим расчетам на основе учета строения и прочностных показателей горных пород, залегающих над угольным пластом [30]. Соответственно, при таком подходе к определению параметров данного процесса не всегда возможно обеспечить необходимую точность ввиду неоднородности геологического строения слагающих кровлю пород, а также вариативности их физических свойств.

Учитывая ранее подтвержденные достоверность и эффективность оценки динамики НДС массива горных пород по параметрам ИАС при решении различных горно-геологических задач, обоснована возможность

прогнозирования участков посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт и оценки степени динамичности возникающих при этом ГДЯ посредством внедрения прогностических параметров и установления соответствующих пороговых значений.

Применяемый порядок использования ИАС позволяет не только расширить его информативные параметры, но и автоматизировать прогнозирование процесса посадки основной кровли при ведении очистных работ для обеспечения возможности применения превентивных мер во избежание аварий и инцидентов.

4.1. Исследование особенностей распределения спектральных характеристик ИАС и динамики развития межслоевых деформаций, возникающих при посадке основной кровли угольного пласта

Исследование динамики процесса посадки основной кровли в очистном забое основано на определении характера распределения информативных параметров ИАС (коэффициента относительных напряжений K , частоты спектрального максимума F и суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E) на участках ее предполагаемой посадки, подтверждающейся фактами повышенных газовыделений в оконтуривающих выработках лавы.

По результатам анализа спектров ИАС, регистрируемых в процессе отработки угольного пласта «50» лавой 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского», установлена характерная особенность распределения коэффициента относительных напряжений K на участке посадки пород основной кровли: непосредственно активизации процесса посадки предшествует снижение коэффициента K до минимальных значений ($\min 1$) с последующим увеличением до своего максимума ($\max$) и дальнейшим достижением минимальных значений ($\min 2$) – локальной разгрузкой массива горных пород, сопровождающейся смещением и обрушением пород основной кровли (рис. 4.1)

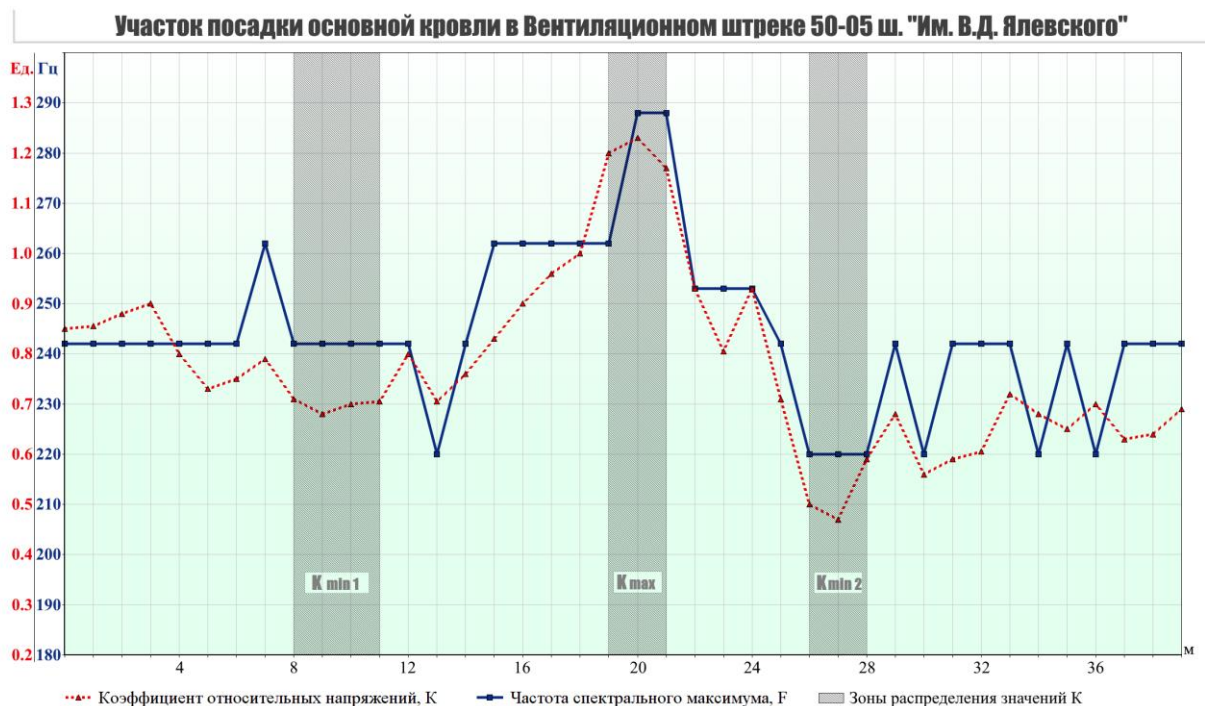


Рисунок 4.1 –Распределение параметров ИАС в вентиляционном штреке 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского» на участке посадки основной кровли: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и частоты спектрального максимума f (Гц); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

По результатам анализа динамики частоты спектрального максимума F установлено, что межслоевые контакты с максимальным ослаблением смещаются на удаленные от угольного пласта расстояния в зоне минимальных значений коэффициента относительных напряжений K (min 1), далее следует локализация данных межслоевых контактов вблизи пласта в зоне максимальных напряжений (max 1) и обратное смещение от пласта в процессе посадки основной кровли.

Распределение значений коэффициента относительных напряжений K на участке посадки пород основной кровли при движении очистного забоя может быть представлено в следующей последовательности:

1. зона первых минимальных напряжений (min 1), предшествующая процессу посадки основной кровли;
2. глобальный максимум напряжений (max), отражающий момент начала смещения пород основной кровли;

3. зона вторых минимальных напряжений ($\min 2$), соответствующая локальной разгрузке массива, при которой происходит смещение и обрушение пород основной кровли.

В таблицах 4.1 и 4.2 представлены значения коэффициента относительных напряжений K в соответствии с датами и временем их регистрации на участках посадки пород основной кровли по профилю наблюдений в лаве 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского».

Таблица 4.1 Значения коэффициента относительных напряжений K на участках посадки пород основной кровли в вентиляционном штреке 50-05 при движении очистного забоя в лаве 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»

Вентиляционный штрек 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»									
Min 1			Max			Min 2			Отношение max/min1
дата	время	K	дата	время	K	дата	время	K	
20.08.2019	08:00	0.65	20.08.2019	08:14	1.18	20.08.2019	08:22	0.96	1.82
25.08.2019	08:23	0.53	26.08.2019	08:07	1.43	26.08.2019	08:23	0.86	2.70
30.08.2019	08:01	0.58	30.08.2019	08:21	1.61	30.08.2019	08:25	0.95	2.78
04.09.2019	09:06	0.44	04.09.2019	09:13	1.37	04.09.2019	09:22	0.45	3.11
11.09.2019	09:00	0.53	11.09.2019	09:22	1.38	12.09.2019	09:09	0.77	2.60
14.09.2019	09:22	0.85	15.09.2019	09:00	1.33	15.09.2019	09:04	0.86	1.56
23.09.2019	09:21	0.70	24.09.2019	09:05	1.35	24.09.2019	09:14	0.67	1.93
26.09.2019	09:14	0.70	27.09.2019	09:00	1.21	27.09.2019	09:17	0.62	1.73
30.09.2019	09:06	0.90	01.10.2019	10:06	2.20	01.10.2019	10:10	1.16	2.44
08.10.2019	10:06	0.97	08.10.2019	10:19	1.99	08.10.2019	10:23	1.22	2.05
13.10.2019	10:00	1.0	13.10.2019	10:17	2.32	14.10.2019	10:05	0.87	2.32
16.10.2019	10:11	0.64	18.10.2019	10:17	2.02	19.10.2019	10:17	0.50	3.16
18.10.2019	10:18	0.58	20.10.2019	10:13	1.53	20.10.2019	10:15	0.75	2.64
22.10.2019	10:18	0.27	23.10.2019	10:03	1.53	23.10.2019	10:07	0.71	5.67
27.10.2019	10:00	0.72	27.10.2019	10:10	1.74	27.10.2019	10:15	0.81	2.42
29.10.2019	10:20	0.64	31.10.2019	10:00	2.31	01.10.2019	11:03	0.99	3.61
02.11.2019	11:08	0.65	02.11.2019	11:10	2.3	02.11.2019	11:13	1.44	3.54
07.11.2019	11:23	0.40	08.11.2019	11:09	1.46	08.11.201	11:13	1.01	3.65
14.11.2019	11:15	0.81	15.11.2019	11:00	1.0	15.11.2019	11:10	0.77	1.23
21.11.2019	11:04	0.88	21.11.2019	11:07	1.25	21.11.2019	11:18	0.70	1.42
24.11.2019	11:04	0.90	24.11.2019	11:14	2.03	24.11.2019	11:16	1.10	2.26
29.11.2019	11:22	0.32	30.11.2019	11:03	1.32	30.11.2019	11:10	0.28	4.13
04.12.2019	12:11	0.80	04.12.2019	12:22	2.08	05.12.2019	12:03	0.74	2.60
10.12.2019	12:07	0.47	10.12.2019	12:17	1.34	10.12.2019	12:22	0.56	2.85
18.12.2019	12:14	0.57	18.12.2019	12:16	1.66	18.12.2019	12:19	0.79	2.91
21.12.2019	12:15	0.47	21.12.2019	12:21	1.98	22.12.2019	12:02	0.81	4.21
Среднее значение K_{max}/K_{min1} , отражающего динамику процесса посадки кровли									2.74

Непосредственно динамичность протекающего процесса посадки необходимо оценивать по отношению значений относительных напряжений в

глобальном максимуме (max) к значениям в зоне первых минимальных напряжений (min 1).

Таблица 4.2 Значения коэффициента относительных напряжений K на участках посадки пород основной кровли в конвейерном штреке 50-05 при движении очистного забоя в лаве 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»

Конвейерный штрек 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»									
Min 1			Max			Min 2			Отношение max/min1
дата	время	K	дата	время	K	дата	время	K	
18.08.2019	08:00	0.91	19.08.2019	08:14	1.93	19.08.2019	08:23	0.87	2.12
22.08.2019	08:22	0.75	24.08.2019	08:05	1.53	25.08.2019	08:22	0.81	2.04
30.08.2019	08:13	0.63	31.08.2019	08:00	1.01	01.09.2019	09:17	0.56	1.60
05.09.2019	09:10	0.35	05.09.2019	09:15	0.95	06.09.2019	09:00	0.61	2.71
10.09.2019	10:01	0.82	10.09.2019	10:21	1.68	10.09.2019	10:32	0.67	2.05
12.09.2019	09:06	0.32	14.09.2019	09:09	1.20	16.09.2019	09:00	0.21	3.75
23.09.2019	09:18	0.78	24.09.2019	09:07	1.63	25.09.2019	09:09	0.54	2.09
28.09.2019	09:03	1.25	28.09.2019	09:14	2.28	28.09.2019	09:16	1.30	1.82
01.10.2019	10:17	0.54	02.10.2019	10:03	1.48	02.10.2019	10:07	0.69	2.74
09.10.2019	10:08	0.27	09.10.2019	10:12	0.66	09.10.2019	10:13	0.39	2.44
11.10.2019	10:03	0.33	12.10.2019	10:10	1.40	12.10.2019	10:17	0.39	4.24
18.10.2019	10:03	0.59	18.10.2019	10:14	1.19	18.10.2019	10:19	0.51	2.02
19.10.2019	10:19	0.55	20.10.2019	10:14	1.53	20.10.2019	10:26	0.70	2.78
22.10.2019	10:19	0.47	23.10.2019	10:02	1.37	23.10.2019	10:17	0.74	2.91
28.10.2019	10:18	0.55	29.10.2019	10:18	4.35	30.10.2019	10:17	1.38	7.91
30.10.2019	10:16	1.38	31.10.2019	10:02	4.85	31.10.2019	10:07	1.61	3.51
02.11.2019	11:05	1.04	02.11.2019	11:13	4.19	03.11.2019	11:14	2.09	4.03
07.11.2019	11:28	1.50	08.11.2019	11:23	4.54	09.11.2019	11:20	2.05	3.03
13.11.2019	11:23	1.02	15.11.2019	11:03	1.81	15.11.2019	11:15	0.62	1.77
20.11.2019	11:12	0.88	20.11.2019	11:23	3.31	21.11.2019	11:22	0.59	3.76
24.11.2019	11:14	0.65	25.11.2019	11:12	1.79	26.11.2019	11:04	0.76	2.75
29.11.2019	11:00	0.86	29.11.2019	11:17	3.58	29.11.2019	11:20	1.57	4.16
04.12.2019	12:23	1.01	05.12.2019	12:06	3.10	05.12.2019	12:23	1.44	3.07
08.12.2019	12:07	1.61	10.12.2019	12:15	3.89	10.12.2019	12:18	2.48	2.42
17.12.2019	12:22	1.56	18.12.2019	12:01	3.76	18.12.2019	12:04	2.64	2.41
19.12.2019	12:20	1.77	21.12.2019	12:15	2.69	22.12.2019	12:06	1.48	1.52
Среднее значение K_{max}/K_{min1} , отражающего динамику процесса посадки кровли									2.91

Из анализа значений коэффициента относительных напряжений K , представленных в вышеуказанных таблицах, можно сделать вывод о том, что динамичность процесса посадки основной кровли – активнее вблизи конвейерного штрека. При этом глобальные максимумы (наибольшие значения на данном участке посадки основной кровли) превышают 1.5 ед. Соответственно, данная величина может служить пороговым значением для выделения участков возможной посадки пород основной кровли.

Динамика процесса посадки основной кровли на рассматриваемом участке отражена в спектрах ИАС. На рисунке 4.2, в качестве примера,

представлены спектры ИАС, соответствующие определенным этапам посадки кровли в конвейерном штреке 50-05.

В зоне первых минимальных напряжений ($\min 1$) максимальная амплитуда (энергия резонансных частот) зафиксирована на частоте $F=60$ Гц, что указывает на удаление ОМК с максимальным ослаблением на расстояние 42 м от угольного пласта, при этом последующие резонансы распределены на частотах: 220, 400, 460 и 660 Гц.

В глобальном максимуме напряжений ($\max$) наибольшая амплитуда отмечена на частоте $F=200$ Гц, что указывает на локализацию максимально ослабленных ОМК на расстоянии 12.6 м от угольного пласта. В данной зоне стоит отметить значительное снижение величины амплитуд, распространившихся на других частотах.

На участке вторых минимальных напряжений ($\min 2$), определяющем сдвигение пород кровли и их обрушение (непосредственно процесс посадки кровли), интенсивные расслоения зафиксированы на частотах 60, 140 и 200 Гц, амплитуды резонансных частот соответствуют контактам прогибающейся толщи.

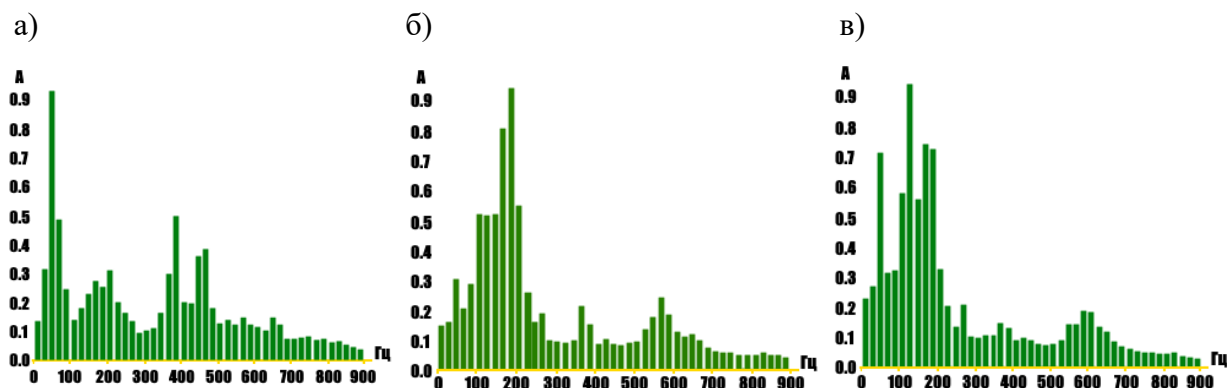


Рисунок 4.2 – Спектры ИАС в конвейерном штреке 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского» на участке посадки основной кровли, а) – $\min 1$ (29.11.2019 00:39), б) – $\max$ (29.11.2019 17:09), в) – $\min 2$ (29.11.2019 21:25): по вертикали – относительная амплитуда A (доли ед.); по горизонтали – частота спектрального максимума f (Гц)

Анализ спектров ИАС позволяет контролировать динамику процесса посадки основной кровли, в том числе, и посредством установления амплитуд резонансных частот, которые нормируются по максимальному значению, в интервалах локализации ОМК от угольного пласта. В таблицах 4.3 и 4.4

представлены результаты определения относительной интенсивности ослаблений ОМК в интервалах удаленности от угольного пласта на отдельных участках оконтуривающих выработок лавы 50-05 при движении очистного забоя в пределах вышеуказанных зон («min 1», «max», «min 2»).

Таблица 4.3 Местоположение ОМК относительно угольного пласта и относительная интенсивность их ослабления на отдельных участках посадки пород основной кровли в вентиляционном штреке лавы 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»

Вентиляционный штрек 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»									
Дата	Время	Зона посадки кровли	Интервалы удаленности ОМК от угольного пласта, м.						
			42	31-18	18-13	13-10	10-7	7-5	5-4
			Относительная амплитуда резонансных частот, доли ед.						
11.09.2019	15:08	Min 1	0.80	-	0.51	1.00*	0.68	-	0.10
11.09.2019	20:15	Max	0.41	-	0.56	0.73	1.00*	-	0.30
11.09.2019	21:53	Min 2	0.21	-	0.16	-	1.00*	0.25	-
26.09.2019	14:23	Min 1	0.14	-	0.53	1.00*	0.13	-	0.9
27.09.2019	00:23	Max	0.12	-	0.20	-	1.00*	-	-
27.09.2019	07:55	Min 2	0.42	-	0.55	1.00*	-	-	-
19.10.2019	18:33	Min 1	1.00*	-	0.26	-	0.81		0.11
20.10.2019	12:53	Max	0.20	-	-	1.00*	-	-	-
20.10.2019	17:42	Min 2	0.33	-	0.32	0.60	1.00*	0.22	-
29.11.2019	22:41	Min 1	0.22	-	1.00*	-	0.14	-	-
30.11.2019	03:41	Max	0.12	0.11	-	1.00*	0.42	-	-
30.11.2019	05:10	Min 2	0.20	-	1.00*	-	0.37	0.13	-

* - максимально ослабленные контакты (расслоения).

Таблица 4.4 Удаленность ОМК от угольного пласта и относительная интенсивность их ослабления на отдельных участках посадки пород основной кровли в конвейерном штреке лавы 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»

Конвейерный штрек 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»									
Дата	Время	Зона посадки кровли	Интервалы удаленности ОМК от угольного пласта, м.						
			42	31-18	18-13	13-10	10-7	7-5	5-4
			Относительная амплитуда резонансных частот, доли ед.						
10.09.2019	00:02	Min 1	-	1.00*	-	0.64	0.41	0.15	0.12
10.09.2019	13:35	Max	0.25	0.34	1.00*	0.86	0.38	0.63	-
11.09.2019	18:43	Min 2	0.45	-	1.00*	0.58	-	0.20	0.29
28.09.2019	16:40	Min 1	1.00*	0.63	-	1.00*	0.95	0.63	0.52
28.09.2019	23:43	Max	0.20	-	-	1.00*	-	0.32	0.27
29.09.2019	01:35	Min 2	0.15	0.26	-	1.00*	0.24	0.27	0.37
18.10.2019	04:04	Min 1	-	1.00*	0.47	-	0.23	-	0.18
18.10.2019	14:33	Max	0.95	0.65	1.00*	-	0.60	-	-
19.10.2019	19:02	Min 2	1.00*	-	-	-	0.52	-	-
29.11.2019	00:39	Min 1	1.00*	-	-	0.32	-	0.52	0.28
29.11.2019	17:09	Max	0.29	0.51	-	1.00*	-	0.17	0.23
29.11.2019	21:25	Min 2	0.75	-	1.00*	0.75	-	0.14	-
Конвейерный штрек 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»									
18.12.2019	00:12	Min 1	0.25	-	-	1.00*	0.46	0.22	-
18.12.2019	01:55	Max	-	-	-	0.88	1.00*	0.62	0.15
18.12.2019	04:51	Min 2	-	0.17	-	0.30	1.00*	0.28	-

* - максимально ослабленные контакты (расслоения).

Соответственно, в вентиляционном штреке 50-05, граничащим с отработанным угольным пластом, большее количество ОМК, включая максимальные расслоения, сосредоточены на удалении от 10 до 18 м от угольного пласта, при этом в конвейерном штреке около 30% ОМК локализовались на удалении от 20 до 40 м.

В целом, результаты данного исследования и аналогичных (в иных горно-геологических условиях [137]), позволили установить, что:

1. в зоне первых минимальных напряжений, предшествующей процессу посадки основной кровли, интенсивные ослабления межслоевых контактов активизируются на значительном расстоянии от угольного пласта (до 42 м);

2. последующий рост напряжений обуславливает развитие межслоевых деформаций перед началом процесса смещения пород основной кровли и характеризуется задействованием преобладающего количества ОМК в диапазоне от 5 до 42 м.

3. по достижении глобального максимума напряжений происходит смещение максимальных расслоений пород кровли на 10-13 м от угольного пласта, что приводит к «защемлению» его краевой части.

4. дальнейший спад относительных напряжений до вторых минимальных значений приводит к интенсивному развитию деформационных процессов на удаленных контактах (до 42 м), при котором наблюдается прогибание и сдвигание толщи интенсивно расслоившихся пород, что приводит к их обрушению.

Соответственно, максимальные расслоения на участках с минимальными напряжениями смещены на удаленные от угольного пласта расстояния по сравнению с участками максимальных напряжений, при этом максимум опорного давления располагается за пределами развивающихся максимальных межслоевых деформаций.

Данное исследование также подтверждает взаимосвязь развития межслоевых деформаций и динамики спектра ИАС.

Анализ максимальных значений амплитуд в спектре ИАС позволил установить положение ослабленных межслоевых контактов относительно угольного пласта, наряду с выделением степени их ослабления в зависимости от амплитуды данных максимальных значений, которые соответствуют энергии ИАС. Причиной изменения степени ослабления ОМК являются межслоевые деформации, возникающие непосредственно в процессе ведения очистных работ. Цикл выемки угля очистным комбайном приводит к кратковременному зависанию пород основной кровли, что обуславливает активное развитие межслоевых деформаций на значительном удалении от угольного пласта, последующее прогибание и сдвигание толщи пород способствует интенсивному развитию деформаций на широком фронте, обрушению расслоившихся пород и последующему переходу массива в устойчивое состояние [137].

4.2. Исследование динамики суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах ИАС на участках посадки основной кровли в целях повышения эффективности прогноза

Основными информативными параметрами ИАС, используемыми в соответствии с разработанным методом контроля НДС призабойной части массива горных пород в угольных шахтах, являются коэффициент относительных напряжений K (ед.) и суммарная энергия резонансных частот F (Гц). Эффективность и обоснованность применения данных параметров подтверждена при решении многочисленных горно-геологических задач, в том числе описанных ранее. При этом, для прогноза посадки основной кровли дополнительно выбрана суммарная энергия резонансных частот E (отн. ед.), представляющая собой сумму квадратов амплитуд резонансных частот в БПФ и характеризующая интенсивность развития межслоевых деформаций в толще углевмещающих пород на различном удалении от угольного пласта вблизи исследуемой горной выработки.

Исследования особенностей распределения параметров искусственного акустического сигнала, возникающего в процессе бурения шпуров [138, 139],

показали, что энергия акустического сигнала в значительной степени связана с динамикой состояния НДС призабойной части массива, поскольку минимальное значение энергии ИАС соответствует наибольшему объему выбуривания штыба и положению максимума опорного давления. Каждое увеличение выхода буровой мелочи обусловлено локальной пригрузкой призабойной части массива и сопровождается снижением энергии ИАС, что позволяет говорить об объективности применения данного параметра для оценки НДС массива и необходимости дальнейшего исследования его динамики в целях повышения устойчивости прогноза посадки основной кровли.

Объектами исследования выступили следующие лавы угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»:

1. лава 18-46, пласт «Толмачевский», шахта «Комсомолец» (см. рис. 3.3);
2. лава 50-05, пласт «50», шахта «Им. В.Д. Ялевского» (см. рис. 3.7);
3. лава 24-62, пласт «Болдыревский», шахта «Им. С.М. Кирова» (см. рис. 3.19).

Основные характеристики вышеуказанных объектов исследования, оказывающие влияние на распределение НДС призабойной части массива горных пород, представлены в таблице 4.5.

Также стоит отметить, что влияние на НДС массива оказывает удаленность очистного забоя от монтажной камеры: при условии равенства или превышения длины очистного забоя в процессе выемки угля в сдвигение горных пород вовлекаются толщи, залегающие выше основной кровли.

Таблица 4.5 Характеристика исследованных очистных забоев угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Очистной забой	Мощность угольного пласта, м	Длина очистного забоя, м	Глубина разработки, м	Мощность песчаника основной кровли, м
Лава «24-62»	2.0	300	5100	до 20
Лава «18-46»	3.0	300	440	до 20
Лава «50-05»	4.0	400	310	до 30

В соответствии с принципиальной схемой функционирования системы САКСМ в очистном забое (см. рис. 2.6), регистрирующие геофоны устанавливаются на элементах механизированной крепи вблизи оконтуривающих выработок. Таким образом, в рамках исследования проведен анализ распределения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E , коэффициента относительных напряжений K и частоты спектрального максимума F в каждом цикле выемки угля на участках посадки основной кровли по каждой оконтуривающей выработке.

Учитывая, что при формировании первичного звена обработки ИАС («блока») за 1 секунду набирается около 20 спектров, для оценки устойчивости параметра суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E принято его усреднение во временных интервалах (от 10 минут и более) по выборкам объемом от 100 до 1000 наблюдений за период от начала и до конечной отработки каждой из рассматриваемых лав.

Поскольку эффективность и достоверность использования коэффициента относительных напряжений K в целях выделения участков предполагаемой посадки основной кровли подтверждена результатами вышеописанного исследования (см. рисунок 4.1), именно взаимосвязь данного параметра с динамикой суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E представляет определенный интерес.

Кроме того, в рамках исследования характера распределения параметра E на участках посадки основной кровли дополнительно рассмотрена вероятность локальных аномалий в его значениях, обусловленных различной нагрузкой при выемке угля и зачистке забоя, различной скоростью подвигания забоя и неравномерностью движения очистного комбайна.

Соответственно, усреднения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E выполнены на следующих участках лавы: от монтажной камеры (далее – МК) до первой посадки основной кровли; при удалении очистного забоя от МК на расстояние, равное его длине; в промежутке между данными участками. После отхода забоя от МК на

расстояние, равное его длине, объем выборки уже насчитывал, приблизительно, до 1000 наблюдений. В среднем в каждой лаве определено 10 участков наблюдений в зависимости от величины отхода забоя от МК.

В таблицах 4.6–4.11 представлены результаты анализа характера распределения и оценки стабильности суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E , а также частоты спектрального максимума F на вышеуказанных участках наблюдений в оконтуривающих выработках лав шахт:

1. шахта «Им. В.Д. Ялевского» (таблицы 4.6 и 4.7);
2. шахта «Им. С.М. Кирова» (таблицы 4.8 и 4.9);
3. шахта «Комсомолец» (таблицы 4.10 и 4.11).

Таблица 4.6 Средние значения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) и частоты спектрального максимума F (Гц) в вентиляционном штреке 50-05 на различном удалении от монтажной камеры по длине выемочного столба в лаве 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»

Вентиляционный штрек 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»					
Участок наблюдений в лаве	Расстояние от МК, м	Кол-во циклов	E , (отн. ед.)	F , (Гц)	h (положение ОМК), м
1	60	80	157	160	15.6
2	200	200	204	143	17.5
3	400	1000	212	198	12.6
4	780	1000	317	250	10.0
5	1200	1000	474	269	9.3
6	1840	1000	371	229	10.9
7	2180	1000	439	216	11.6
8	2400	400	571	226	11.1
9	2640	300	409	223	11.2
10	2740	100	252	227	11.0

Таблица 4.7 Средние значения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах Е (отн. ед.) и частоты спектрального максимума F (Гц) в конвейерном штреке 50-05 на различном удалении от монтажной камеры по длине выемочного столба в лаве 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»

Конвейерный штрек 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»					
Участок наблюдений в лаве	Расстояние от МК, м	Кол-во циклов	Е, (отн. ед.)	F, (Гц)	h (положение ОМК), м
1	60	80	149	226	11.1
2	200	200	194	259	9.7
3	400	1000	272	410	6.1
4	780	1000	327	238	10.5
5	1200	1000	324	175	14.3
6	1840	1000	505	168	14.9
7	2180	1000	513	188	13.3
8	2400	400	385	139	18.0
9	2640	300	534	179	14.0
10	2740	100	486	127	19.7

Таблица 4.8 Средние значения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах Е (отн. ед.) и частоты спектрального максимума F (Гц) в вентиляционной печи 24-62 на различном удалении от монтажной камеры по длине выемочного столба в лаве 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова»

Вентиляционная печь 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова»					
Участок наблюдений в лаве	Расстояние от МК, м	Кол-во циклов	Е, (отн. ед.)	F, (Гц)	h (положение ОМК), м
1	45	70	192	56	44.6
2	240	500	316	282	8.9
3	300	1000	317	398	6.3
4	750	1000	166	286	8.7
5	920	1000	235	247	10.1
6	1290	1000	286	276	9.1
7	1560	1000	253	286	8.7
8	1870	1000	428	174	14.4
9	2270	300	241	259	9.7
10	2340	100	286	286	8.7

Таблица 4.9 Средние значения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах Е (отн. ед.) и частоты спектрального максимума F (Гц) в конвейерной печи 24-62 на различном удалении от монтажной камеры по длине выемочного столба в лаве 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова»

Конвейерная печь 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова»					
Участок наблюдений в лаве	Расстояние от МК, м	Кол-во циклов	Е, (отн. ед.)	F, (Гц)	h (положение ОМК), м
1	45	70	532	305	8.2
2	240	500	621	368	6.8
3	300	1000	573	361	6.9
4	750	1000	166	286	8.7
5	920	1000	235	247	10.1
6	1290	1000	286	276	9.1
7	1560	1000	253	286	8.7
8	1870	1000	428	174	14.4
9	2270	300	241	125	20.0
10	2340	100	287	128	19.5

Таблица 4.10 Средние значения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах Е (отн. ед.) и частоты спектрального максимума F (Гц) в вентиляционном штреке 18-46 на различном удалении от монтажной камеры по длине выемочного столба в лаве 18-46 шахты «Комсомолец»

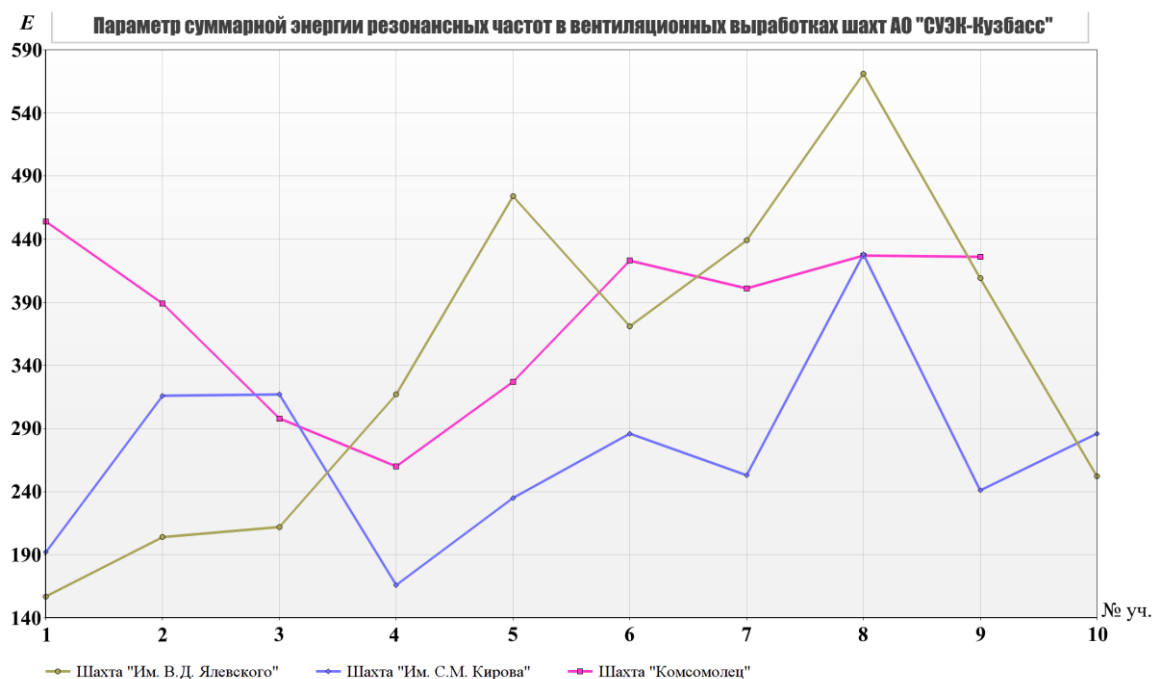
Вентиляционный штрек 18-46 шахты «Комсомолец»					
Участок наблюдений в лаве	Расстояние от МК, м	Кол-во циклов	Е, (отн. ед.)	F, (Гц)	h (положение ОМК), м
1	45	93	454	430	5.8
2	100	220	389	444	5.6
3	300	500	298	464	5.4
4	700	800	260	517	4.8
5	1240	800	327	264	9.5
6	1600	500	423	197	12.7
7	1700	200	401	241	10.4
8	1840	500	427	241	10.4
9	1900	100	426	195	12.8

Таблица 4.11 Средние значения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) и частоты спектрального максимума F (Гц) в конвейерном штреке 18-46 на различном удалении от монтажной камеры по длине выемочного столба в лаве 18-46 шахты «Комсомолец»

Конвейерный штрек 18-46 шахты «Комсомолец»					
Участок наблюдений в лаве	Расстояние от МК, м	Кол-во циклов	E , (отн. ед.)	F , (Гц)	h^* , м
1	45	93	454	376	6.6
2	100	220	389	315	7.9
3	300	500	298	272	9.2
4	700	800	260	350	7.1
5	1240	800	327	133	18.8
6	1600	500	423	139	18.0
7	1700	200	401	165	15.2
8	1840	500	427	151	16.6
9	1900	100	426	166	15.1

На рисунке 4.3 представлено распределение суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) на участках наблюдений в оконтуривающих выработках лав по данным таблиц 4.6–4.11.

а)



б)

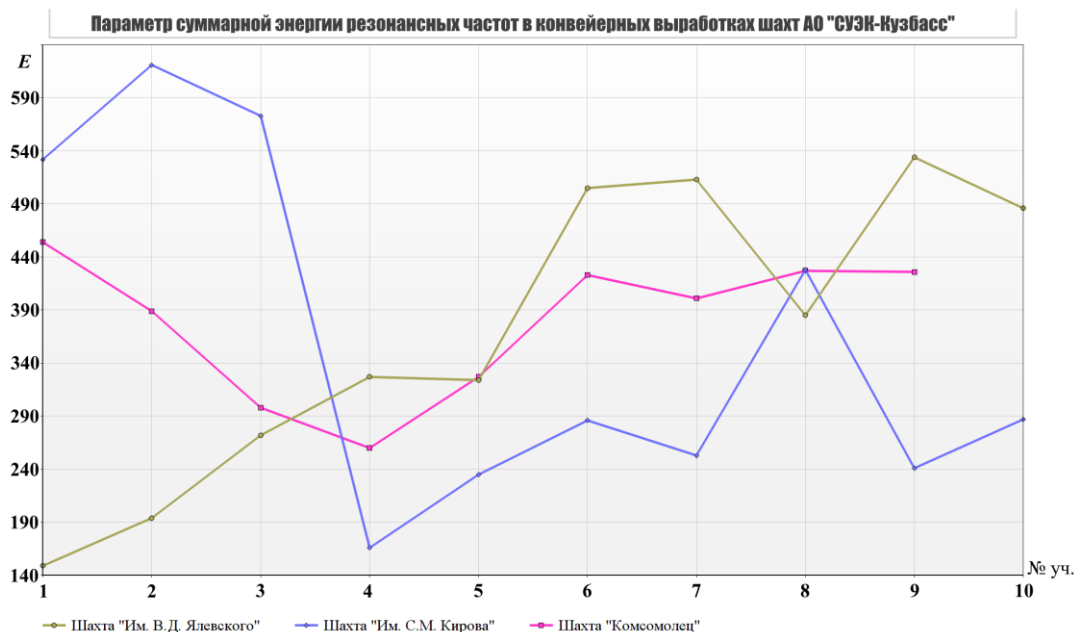
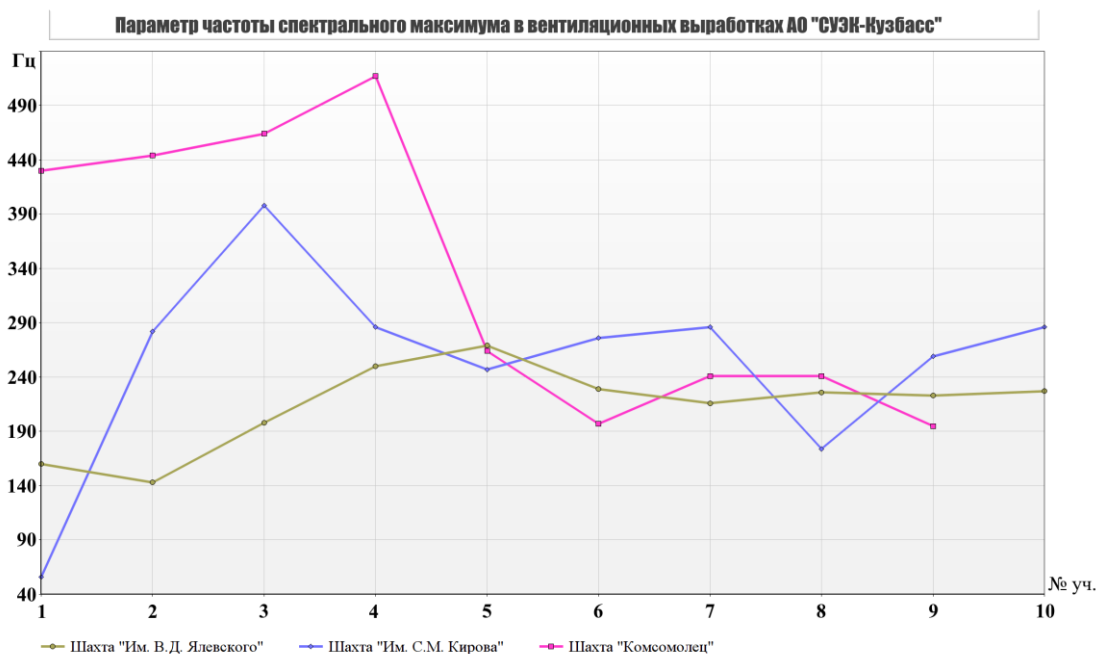


Рисунок 4.3 – Распределение суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E на участках наблюдений а) в вентиляционных выработках; б) в конвейерных выработках: по вертикали – значения суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.); по горизонтали – номера участков наблюдений

Аналогично, на рисунке 4.4 представлено распределение частоты спектрального максимума F (Гц) участках наблюдений в оконтуривающих выработках лав по данным таблиц 4.6–4.11.

а)



б)

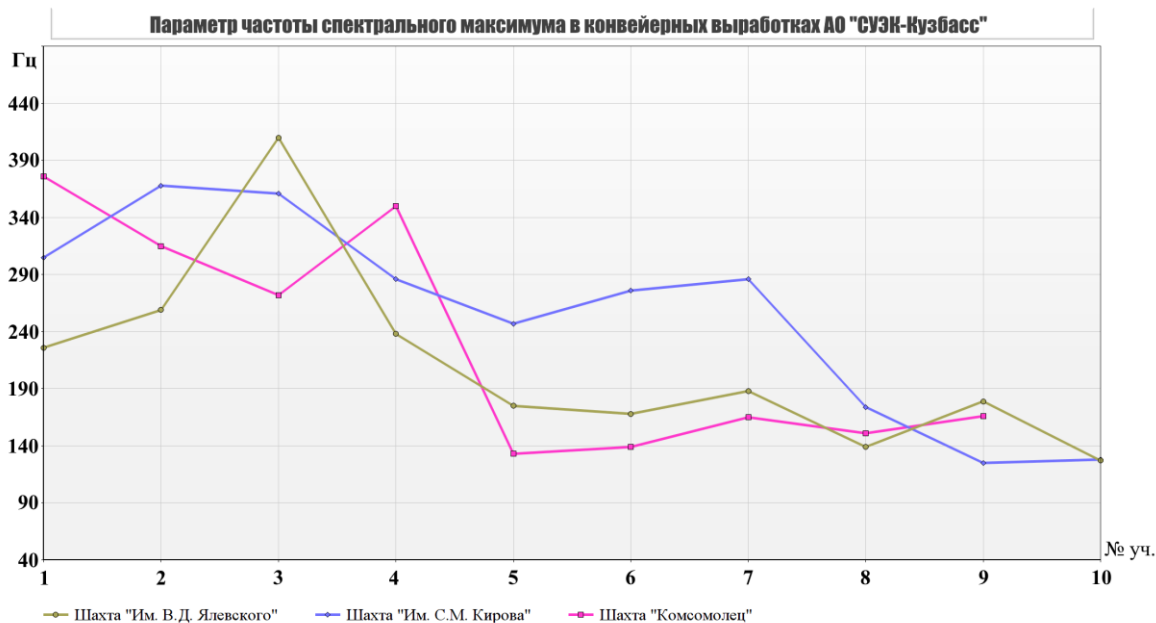


Рисунок 4.4 – Распределение частоты спектрального максимума f на участках наблюдений а) в вентиляционных выработках; б) в конвейерных выработках: по вертикали – значения частоты спектрального максимума f (Гц); по горизонтали – номера участков наблюдений

Установлено, что исследованные параметры на протяжении работы очистных забоев в среднем изменяются в 2.5 раза, при этом суммарная энергия резонансных частот E характеризуется увеличением значений в процессе отхода от монтажной камеры, и, напротив, частота спектрального максимума F снижается, что указывает на удаление межслоевых контактов с максимальным ослаблением от угольного пласта.

При этом значительная динамика значений данных параметров в оконтуривающих выработках лавы 24–62 шахты «Им. С.М. Кирова» на расстоянии до 300 м от монтажной камеры обусловлена влиянием геологического нарушения. В целом отмечен локальный рост параметров E и F при отходе очистного забоя от МК на расстояние 300-400 метров, что, как сказано ранее, соответствует непосредственно длине забое. А снижение значений данных параметров в диапазоне 1900-2640 м от МК обусловлено приближением очистного забоя к демонтажной камере, в зоне влияния которой породы основной кровли характеризуются большей устойчивостью.

4.3. Разработка прогностического параметра для оценки динамичности посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Результаты вышеописанных исследований в очистных забоях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» подтверждают эффективность и достоверность выделения участков предполагаемой посадки основной кровли на основе мониторинга распределения коэффициента относительных напряжений K , суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E и частоты спектрального максимума F .

При этом сохраняется необходимость выделения локальных аномалий данных информативных параметров ИАС, в связи с чем выполнен дальнейший анализ их динамики на участках посадки основной кровли, подтвержденной фактами повышенных газовыделений в оконтуривающих горных выработках.

Характер взаимосвязи относительных напряжений и интенсивности развития межслоевых деформаций представлен на рисунке 4.5.

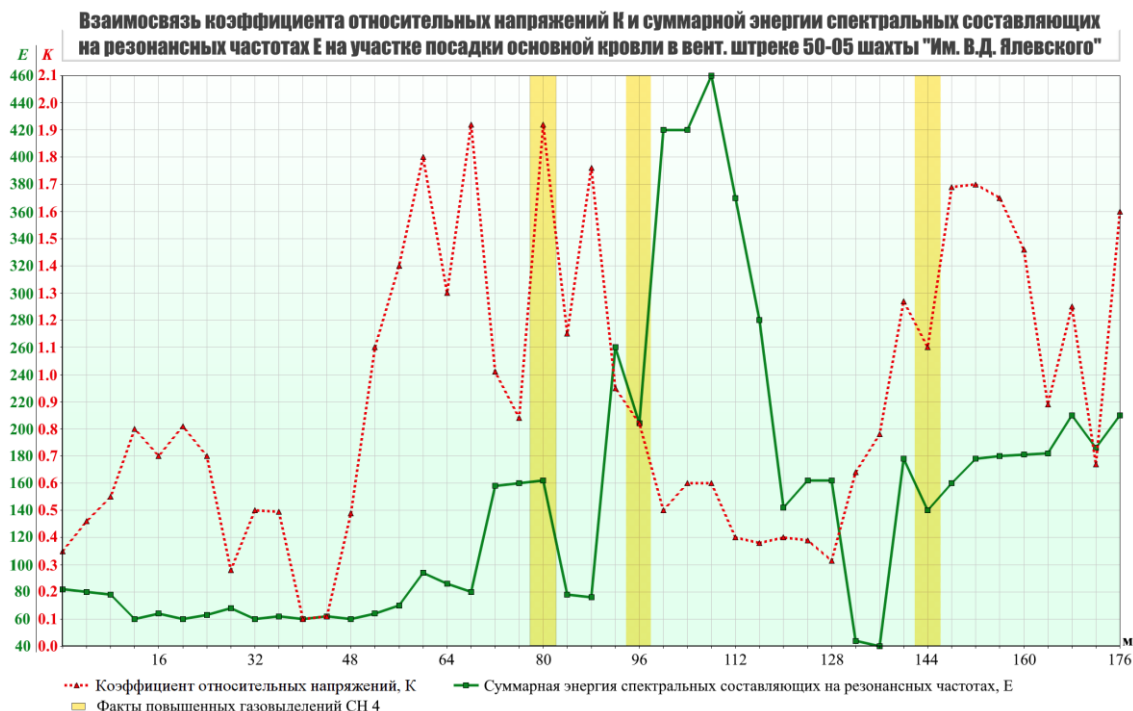


Рисунок 4.5 –Распределение параметров ИАС в вентиляционном штреке 50-05 шахты «Им.

В.Д. Ялевского» на участке посадки основной кровли: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и суммарной энергии резонансных частот E (отн. ед.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Увеличение значений коэффициента относительных напряжений K на участке посадки основной кровли в вентиляционном штреке 50–05 шахты «Им. В.Д. Ялевского», подтвержденной фактами повышенных газовыделений, сопровождается снижением значений суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E .

В связи с установленной стабильностью и предсказуемостью динамики вышеуказанных параметров ИАС на участках посадки основной кровли предлагается нормирование их текущих значений посредством усреднения массива предшествующих значений, оптимальный объем которого должен составляет не менее 30 циклов, что подтверждается результатами аналогичных исследований в иных горно-геологических условиях.

$$K_n = \frac{K_i}{K_{cp}} \quad \text{и} \quad E_n = \frac{E_i}{E_{cp}} \quad (4.1)$$

где K_i и E_i – текущие значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) соответственно; K_{cp} и E_{cp} – усредненные значения данных параметров по выборке предыдущих наблюдений.

Соответственно, на основе данного усреднения значений информативных параметров ИАС предлагается введение прогностического параметра посадки основной кровли, равного отношению нормированных значений коэффициента относительных напряжений K_n и суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E_n :

$$P_{кр} = \frac{K_n}{E_n} \quad (4.2)$$

где K_n и E_n – нормированные значения коэффициента относительных напряжений K (ед.) и суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) соответственно.

Таким образом, на основе анализа проведенных исследований в различных горно-геологических условиях на шахтах «Им. В.Д. Ялевского» и «Им. С.М. Кирова» установлен характер распределения коэффициента

относительных напряжений K и суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E в целях установления пороговых значений параметра прогноза посадки основной кровли. В таблицах 4.12 и 4.13 представлены некоторые результаты данного анализа.

Таблица 4.12 Значения коэффициента относительных напряжений K (ед.), суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) и частоты спектрального максимума F (Гц) в оконтуривающих выработках лавы 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского» на участках посадки основной кровли.

Лавы 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского»											
Дата	Оконтуривающая выработка	Условие посадки кровли	Коэффициент относительных напряжений K , (ед.)			Суммарная энергия резонансных частот E , (отн.ед.)			Частота спектрального максимума F , (Гц)		
			min	max	$\frac{\max}{\min}$	min	max	$\frac{\max}{\min}$	min	max	$\frac{\max}{\min}$
08.07.2018	Вентиляционная	1-я посадка	0.2	2.15	10.8	100	325	3.3	100	280	2.8
02.08.2019	Вентиляционная	Посадка	0.8	1.4	1.8	85	140	1.6	220	240	1.1
05.08.2019	Конвейерная	Посадка	0.8	1.8	2.3	440	520	1.2	190	300	1.6
14.08.2019	Вентиляционная	Посадка	0.21	1.2	5.7	360	530	1.5	60	360	6.0
18.08.2019	Вентиляционная	Отход от МК*	0.81	1.53	1.9	120	540	4.5	260	280	1.1
20.08.2019	Конвейерная	Отход от МК*	0.9	1.7	1.9	140	900	6.4	280	280	1.0
23.08.2019	Конвейерная	Посадка	1.3	2.4	1.8	200	520	2.6	350	420	1.2
25.05.2019	Вентиляционная	Посадка	0.6	1.3	2.2	160	600	3.8	260	260	1.0
05.09.2019	Вентиляционная	Посадка	0.75	1.35	1.8	120	280	2.3	220	300	1.4
05.09.2019	Конвейерная	Посадка	0.9	1.5	1.7	80	240	3.0	290	330	1.1
17.09.2019	Вентиляционная	Посадка	0.65	1.5	2.3	120	850	7.1	240	280	1.2
19.10.2019	Конвейерная	Посадка	0.6	4.2	7.0	200	330	1.7	60	220	3.7
19.10.2019	Вентиляционная	Посадка	0.9	1.5	1.7	210	440	2.1	200	222	1.1
02.11.2019	Вентиляционная	Ось**	0.9	2.4	2.7	330	850	2.6	360	360	1.0
29.11.2019	Вентиляционная	Посадка	0.3	1.4	4.7	150	750	5.0	145	180	1.2
15.12.2019	Конвейерная	Ось**	0.85	2.1	2.5	420	900	2.1	180	280	1.6
19.02.2020	Конвейерная	Посадка	0.7	1.5	2.1	350	860	2.5	150	200	1.3
05.03.2020	Вентиляционная	Посадка	0.35	2.1	6.0	180	1170	6.5	120	560	4.7
07.04.2020	Вентиляционная	Посадка	0.7	1.8	2.6	100	470	4.7	160	280	1.8

* - отход очистного забоя от монтажной камеры на расстояние, равное его длине

** - пересечение оси Ленинской синклинали (геологическое нарушение)

Установленное распределение указывает на динамичное изменение рассматриваемых параметров по ходу подвигания очистного забоя, кроме того, данные вышеуказанной таблицы также подтверждают выводы ранее проведенного исследования [137] о значительном отличии экстремумов коэффициента относительных напряжений K в зоне первой посадки основной кровли от регулярных посадок, способствующих «адаптированию» состояния массива горных пород.

Таблица 4.13 Значения коэффициента относительных напряжений K (ед.), суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) и частоты спектрального максимума F (Гц) в оконтуривающих выработках лавы 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова» на участках посадки основной кровли.

Лавы 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова»											
Дата	Оконтуривающая выработка	Условие посадки кровли	Коэффициент относительных напряжений K , (ед.)			Суммарная энергия резонансных частот E , (отн.ед.)			Частота спектрального максимума F , (Гц)		
			min	max	$\frac{\max}{\min}$	min	max	$\frac{\max}{\min}$	min	max	$\frac{\max}{\min}$
14.06.2019	Вентиляционная	1-я посадка	1.65	3.9	2.4	135	270	2.0	300	860	2.9
16.06.2019	Конвейерная	1-я посадка	0.42	1.15	2.7	200	520	2.6	60	800	13.3
02.07.2019	Вентиляционная	Посадка	0.12	0.32	2.7	140	720	5.1	400	400	1.0
10.07.2019	Конвейерная	Посадка	0.55	1.15	2.1	400	1400	3.5	320	400	1.3
10.07.2019	Вентиляционная	Посадка	0.8	3.2	4.0	130	320	2.5	320	400	1.3
16.07.2019	Вентиляционная	Геологическое нарушение	0.85	1.6	1.9	170	730	4.3	620	680	1.1
16.07.2019	Конвейерная	Посадка	0.3	2.8	9.3	100	1300	13.0	140	770	5.5
24.07.2019	Конвейерная	Отход от МК*	0.6	1.4	5.3	80	250	2.7	80	320	4.0
12.11.2019	Конвейерная	Посадка	0.35	1.3	2.3	100	320	3.1	60	230	3.8
27.01.2020	Вентиляционная	Посадка	1.10	1.52	2.3	300	1000	3.3	300	300	1.0
07.02.2020	Вентиляционная	Посадка	1.0	1.75	3.7	150	250	3.2	300	800	2.7
29.02.2020	Конвейерная	Посадка	0.9	1.35	1.4	170	370	3.3	180	180	1.0
08.04.2020	Вентиляционная	Посадка	0.95	1.35	1.8	400	600	1.7	330	700	2.1
22.04.2020	Конвейерная	Посадка	0.9	1.3	1.5	200	500	2.2	20	300	15.0
09.05.2020	Вентиляционная	Посадка	0.7	1.12	1.4	220	450	1.5	290	320	1.1
27.06.2020	Конвейерная	Посадка	0.7	1.9.	1.4	205	275	2.5	140	340	2.4

* - отход очистного забоя от монтажной камеры на расстояние, равное его длине

Следует отметить, что сопоставление данных по лавам двух шахт также указывает на возрастание динамичности посадки основной кровли, обусловленной мощностью отрабатываемого пласта, что отражается в отношении максимальных и минимальных значений коэффициента относительных напряжений K , данная закономерность также подтверждена исследованием [137].

Также стоит обратить внимание на аномалии параметров ИАС непосредственно перед посадкой основной кровли, а именно на чередование минимальных и максимальных значений коэффициента относительных напряжений K , как видно рисунке 4.5. Соответственно, для определения момента посадки основной кровли было необходимо установление пороговых значений параметра прогноза $P_{кр}$. Именно результаты вышеуказанных шахтных наблюдений и ранних исследований [137] обеспечили возможность

прогнозирования посадки основной кровли посредством установления верхнего и нижних пороговых уровней: посадка основной кровли прогнозируется при превышении порогового уровня в 1.5 ед. при наличии перед этим значений ниже минимума в 0.8 ед. При этом, за пределами пороговых значений необходимо не менее 3-х циклов обработки ИАС, указывающих на сохраняющиеся условия, что позволяет системе объективно информировать единый диспетчерский центр о прогнозируемой посадке основной кровли.

Непосредственно степень динамичности данного процесса оценивается по превышению прогнозным параметром значения второго уровня – 3.0 ед., при котором возможны обрушения пород кровли и повышенные газовыделения в горные выработки.

На рисунке 4.6 продемонстрированы результаты прогнозирования участков посадки основной кровли, основанного на непрерывной регистрации ИАС системой САКСМ в лаве 50-05 шахты «Им. В.Д. Ялевского».

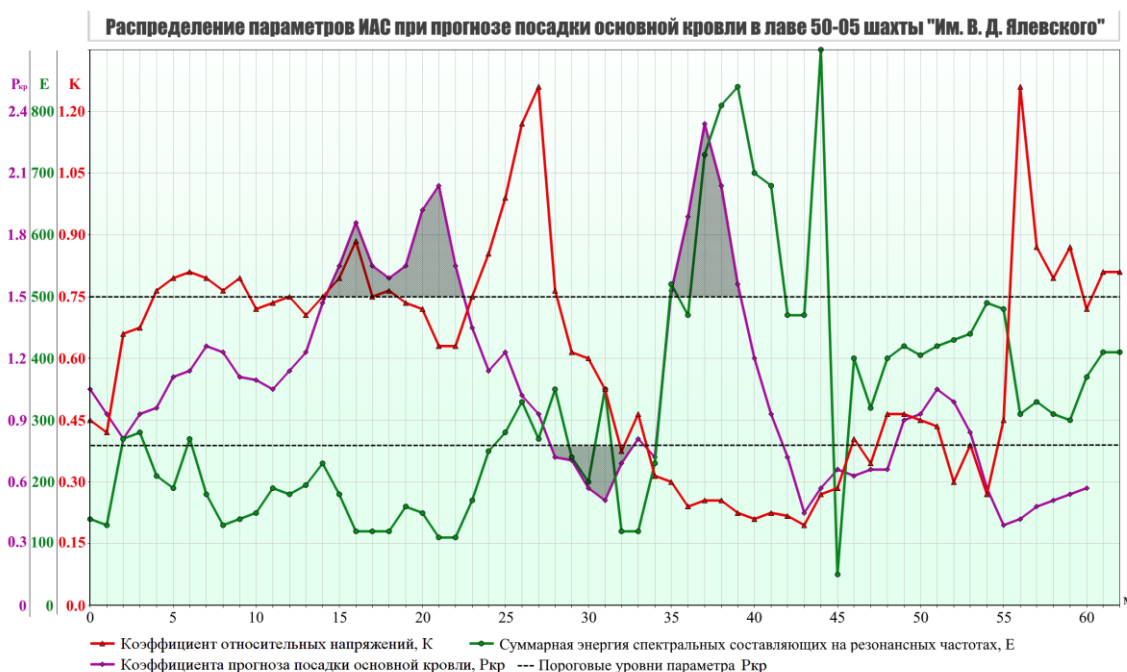


Рисунок 4.6 –Параметры ИАС при прогнозе посадки основной кровли в лаве 50-05 ш. «Им. В.Д. Ялевского»: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.), суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) и параметра прогноза посадки основной кровли $P_{кр}$ (ед.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Как можно видеть, первый участок аномальных значений параметра прогноза посадки основной кровли $P_{кр}$ установлен на удалении 15 м от монтажной камеры, перед которым зафиксировано снижение значений до приграничных (0.83 ед.) относительно порогового уровня (0.8 ед.). Вероятно, данный участок обусловлен обрушением непосредственной кровли, представленной преимущественно алевролитом. Второй участок посадки основной кровли локализовался при отходе очистного забоя от монтажной камеры приблизительно на 35 м, при этом максимальное значение прогностического параметра достигло 2.36 ед.

На рисунке 4.7 продемонстрированы результаты аналогичного прогнозирования участков посадки основной кровли, основанного на непрерывной регистрации ИАС системой САКСМ в лаве 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова».

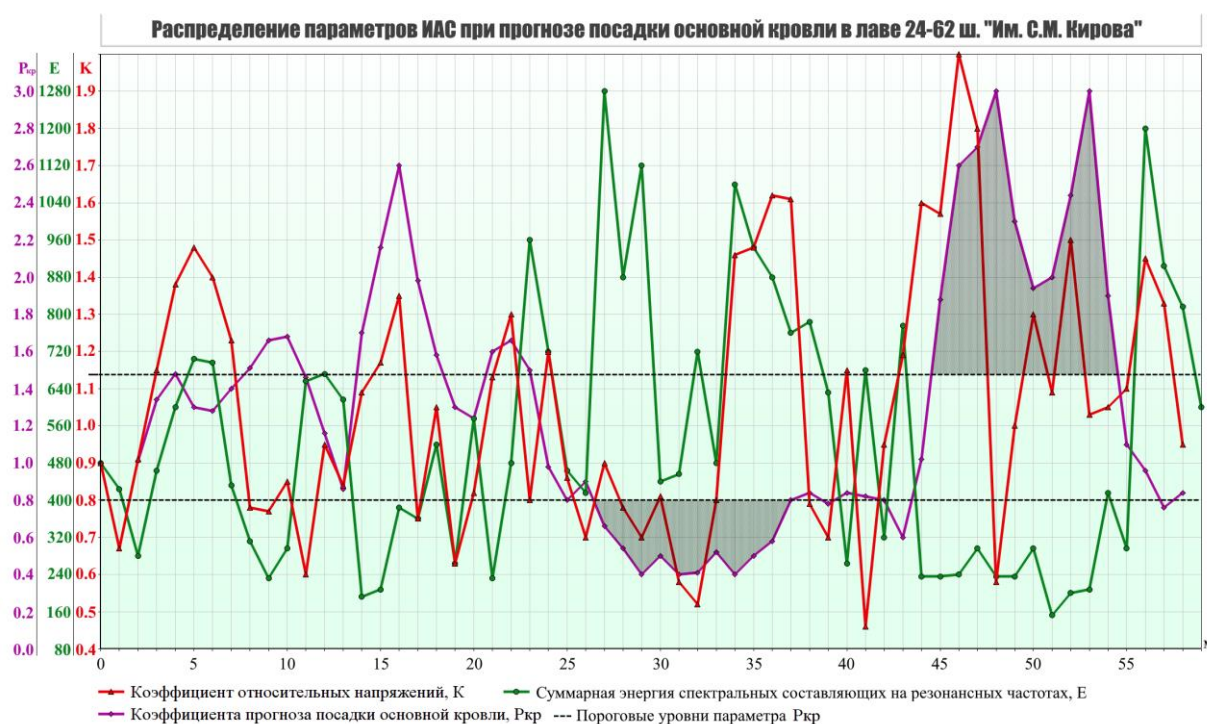


Рисунок 4.7 –Параметры ИАС при прогнозе посадки основной кровли в лаве 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова»: по вертикали – значения коэффициента относительных напряжений K (ед.), суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E (отн. ед.) и параметра прогноза посадки основной кровли $P_{кр}$ (ед.); по горизонтали – расстояние от начального пикета в метрах

Стоит отметить, что в лаве 24-62 шахты «Им. С.М. Кирова» посадка основной кровли происходила в зоне влияния геологического нарушения.

Процесс подготовки и завершения посадки кровли происходил при подвигании забоя на 28 м, максимальное значение прогностического параметра достигло второго уровня пороговой величины – 3.0 ед., поэтому в единый диспетчерский центр было передано сообщение о возможных динамических явлениях, а именно за 5 часов до факта возникновения купола с обрушением пород до 3.0 м в вентиляционной печи 24-62.

Проверка эффективности и достоверности предлагаемого порядка прогнозирования реализована на 9-ти объектах трех угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс», при этом на участках посадки основной кровли максимальные значения параметра прогноза $P_{кр}$ варьировались от 1.7 до 3.0 ед., среднее же значение составило – 2.1 ед.

Интенсивное развитие межслоевых деформаций на участках посадки пород основной кровли в значительной степени влияет на динамику газовыделений при движении очистного забоя, что подтверждается результатами данного исследования, а также в работе [76].

Выводы по четвертой главе:

1. Установлен характер распределения коэффициента относительных напряжений K на участках посадки пород основной кровли: непосредственно активизации процесса посадки предшествует снижение коэффициента K до минимальных значений с последующим увеличением до своего максимума, который заменяется локальной разгрузкой массива горных пород, сопровождающейся смещением и обрушением пород основной кровли.

2. На основе анализа динамики частоты спектрального максимума F установлено, что межслоевые контакты с максимальным ослаблением смещаются на удаленные от угольного пласта расстояния в зоне минимальных значений коэффициента относительных напряжений K , далее следует локализация данных межслоевых контактов вблизи пласта в зоне максимальных напряжений и обратное смещение от пласта в процессе посадки основной кровли.

3. Динамика процесса посадки основной кровли отражается в спектрах ИАС: анализ максимальных значений амплитуд в спектре ИАС позволяет устанавливать положение ослабленных межслоевых контактов относительно угольного пласта, наряду с оценкой степени их ослабления в зависимости от амплитуды данных максимальных значений. При этом причиной изменения степени ослабления ОМК являются межслоевые деформации, возникающие непосредственно в процессе ведения очистных работ, что подтверждает взаимосвязь их развития с динамикой спектра ИАС.

4. Установлено, что анализ суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E позволяет эффективно оценивать интенсивность развития межслоевых деформаций в толще углевмещающих пород и характеризуется увеличением значений в процессе отхода от монтажной камеры, что сопровождается смещением межслоевых контактов с максимальным ослаблением на удаленные от угольного пласта расстояния.

5. Анализ динамики параметров ИАС на участках посадки пород основной кровли в различных горно-геологических условия позволил подтвердить взаимосвязь относительных напряжений и интенсивности развития межслоевых деформаций, что выражается в снижении значений суммарной энергии спектральных составляющих на резонансных частотах E по мере увеличения коэффициента относительных напряжений K .

6. Установленная взаимосвязь относительных напряжений и интенсивности развития межслоевых деформаций по характеру изменения параметров ИАС позволила разработать и испытать параметр $P_{кр}$, позволяющий прогнозировать участки посадки основной кровли с оценкой степени динамичности данного процесса, что повышает устойчивость и объективность прогноза, а также позволяет не прерывать основные технологические процессы.

7. Реализация предлагаемого порядка прогнозирования участков посадки основной кровли в лавах угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» позволила

эффективно определить участки предполагаемой посадки на различном удалении от монтажной камеры и заблаговременно спрогнозировать негативное геодинамическое явление, произошедшее в оконтуривающей выработке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научная задача разработки метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород для прогноза участков посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт и определения участков нарушения эксплуатационного состояния горных выработок, что имеет важное значение для обеспечения безопасности и непрерывности технологических процессов выемки угля, а также увеличения темпов и объемов его добычи в целом.

Основные научные результаты и выводы по выполненным в диссертации исследованиям заключаются в следующем:

1. Проведен анализ современного состояния исследований в области управления горным давлением и контроля техногенной сейсмичности. Установлено, что недостатки традиционных методов обусловлены невозможностью объективной и своевременной идентификации параметров, определяющих изменения напряженно-деформированного состояния массива в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, при необходимости поддержания непрерывности технологических процессов по выемке угля и увеличения темпов и объемов его добычи в целом.

2. Обоснована возможность применения метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород по параметрам искусственного акустического сигнала для определения участков относительной разгрузки напряжений с интенсивным развитием межслоевых деформаций, представляющих наибольшую опасность по обрушению пород основной кровли угольного пласта и аварийному состоянию горных выработок. Установлено, что выявление данных участков возможно по динамике изменения коэффициента относительных напряжений K по

сравнению с фоновыми значениями, измеряемыми на безопасном участке массива горных пород.

3. Установлены особенности распределения параметров ИАС в зонах ПГД в зависимости от характера воздействия на массив горных пород: возбуждение ИАС в массиве при проведении операций по выемке угля характеризуется меньшими значениями коэффициента относительных напряжений K в сравнении с импульсным воздействием на массив, который не подвержен влиянию добычных работ. В целом же результаты исследований свидетельствуют о существенном изменении НДС массива горных пород в зонах ПГД вне зависимости от способа возбуждения ИАС.

4. Установлено, что опасность проявления негативных геодинамических явлений при пересечении очистными забоями передовых горных выработок и сбоек оконтуривающих горных выработок зависит от степени разупрочнения горных пород в приконтурной их части, эффективную оценку которой возможно производить на основе отношения максимальных и минимальных значений коэффициента относительных напряжений K в целях определения целесообразности превентивных мер по предотвращению горных ударов.

5. Предложено определять фоновые значения коэффициента прогноза геологических нарушений P_g путем усреднения 3-х минимальных значений из 25 предшествующих циклов регистрации и обработки ИАС. Эффективность данного подхода к локализации и определению характера «поведения» геологических нарушений подтверждена исследованиями в различных очистных горных выработках.

6. Установлено, что наибольшая амплитуда резонансной частоты в спектре искусственного акустического сигнала указывает на удаленность смещения межслоевого контакта относительно угольного пласта и позволяет отследить динамику процесса посадки основной кровли при движении очистного забоя.

7. Предложен порядок прогнозирования участков посадки основной кровли в очистных забоях угольных шахт и оценки степени опасности

возникающих при этом ГДЯ на основе установления взаимосвязи относительных напряжений и интенсивности развития межслоевых деформаций на данных участках по характеру изменения параметров ИАС. Разработан и испытан прогнозный параметр $P_{кр}$, позволяющий определять участки посадки основной кровли с оценкой степени динамичности данного процесса, в целях повышения устойчивости и объективности прогноза, а также обеспечения непрерывности технологических процессов.

8. Результаты работы включены в корпоративный нормативный документ (Стандарт компании) АО «СУЭК» - «Руководство по применению системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ)», внедрены на трех шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» и используются для контроля параметров безопасности ведения горных работ, а также прогноза участков посадки пород основной кровли и оценки степени опасности возникающих при этом динамических явлений.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ДОКУМЕНТЫ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ



СУЭК
СИБИРСКАЯ УГОЛЬНАЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ

АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО
«СУЭК-КУЗБАСС»

РОССИЯ, 652507, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.,
г. ЛЕНИНСК-КУЗНЕЦКИЙ
УЛ. ВАСИЛЬЕВА, 1
ТЕЛ: (38456) 9-33-11
ФАКС: (38456) 9-34-59
E-MAIL: suek-kuzbass@suek.ru

27.09.2012 №2-13957

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы аспиранта кафедры Физических процессов горного производства и геоконтроля Горного института НИТУ «МИСиС»
Аксенова Захара Владленовича

Результаты диссертационной работы Аксенова Захара Владленовича на тему: «Обоснование и разработка метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород по искусственным акустическим сигналам для условий шахт АО «СУЭК-Кузбасс»» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» реализованы в Стандарте компании «АО СУЭК» - «Руководство по применению системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ)» и используются на угольных шахтах компании АО «СУЭК-Кузбасс».

Соответствующие рекомендации в части прогноза участков посадки пород основной кровли угольного пласта по параметрам искусственного акустического сигнала приняты как основные при контроле параметров безопасности ведения горных работ.

Заместитель технического директора
по противоаварийной устойчивости
предприятий – Начальник управления



Н.В. Ледяев



СУЭК

АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО
«СУЭК-КУЗБАСС»

РОССИЯ, 652507, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.,
г. ЛЕНИНСК-КУЗНЕЦКИЙ
УЛ. ВАСИЛЬЕВА, 1
ТЕЛ: (38456) 9-33-11
ФАКС: (38456) 9-34-59
E-MAIL: suek-kuzbass@suek.ru

И. П. А. А. А. № *01/589*

на № _____ от _____

О внедрении результатов
диссертационной работы
Аксенова З.В.

**Справка
о внедрении результатов диссертационной работы аспиранта
кафедры Физических процессов горного производства и геоконтроля
Горного института НИТУ «МИСиС» Аксенова Захара Владленовича**

Результаты диссертационного исследования в рамках обоснования и разработки метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород по искусственным акустическим сигналам для условий шахты им. В.Д. Ялевского, полученные Аксеновым З.В. на основе разработок, реализованы и используются для контроля параметров безопасности ведения горных работ, а также прогноза зоны посадки пород основной кровли и оценки степени опасности возникающих при этом динамических явлений.

Директор ш. им. В.Д. Ялевского

А.В. Понизов

**СУЭК**АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО
«СУЭК-КУЗБАСС»

РОССИЯ, 652507, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.,
г. ЛЕНИНСК-КУЗНЕЦКИЙ
УЛ. ВАСИЛЬЕВА, 1
ТЕЛ: (38456) 9-33-11
ФАКС: (38456) 9-34-59
E-MAIL: suek-kuzbass@suek.ru

24.05.2012 № 00/440

на № _____ от _____

О внедрении результатов
диссертационной работы
Аксенова З.В.

Справка

о внедрении результатов диссертационной работы аспиранта
кафедры Физических процессов горного производства и геоконтроля
Горного института НИТУ «МИСиС» Аксенова Захара Владленовича

Результаты диссертационного исследования в рамках обоснования и разработки метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород по искусственным акустическим сигналам для условий шахты им. С.М. Кирова, полученные Аксеновым З.В. на основе разработок, реализованы и используются для контроля параметров безопасности ведения горных работ, а также прогноза зоны посадки пород основной кровли и оценки степени опасности возникающих при этом динамических явлений.

Директор шахты им. С.М. Кирова

В.Н. Шмат

**СУЭК**АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО
«СУЭК-КУЗБАСС»

РОССИЯ, 652507, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.,
г. ЛЕНИНСК-КУЗНЕЦКИЙ
УЛ. ВАСИЛЬЕВА, 1
ТЕЛ: (38456) 9-33-11
ФАКС: (38456) 9-34-59
E-MAIL: suek-kuzbass@suek.ru

24.05.2006 № *00/667*

на № _____ от _____

О внедрении результатов
диссертационной работы
Аксенова З.В.

Справка
о внедрении результатов диссертационной работы аспиранта
кафедры Физических процессов горного производства и геоконтроля
Горного института НИТУ «МИСиС» Аксенова Захара Владленовича

Результаты диссертационного исследования в рамках обоснования и разработки метода контроля напряженно-деформированного состояния призабойной части массива горных пород по искусственным акустическим сигналам для условий шахтоуправления Комсомolec, полученные Аксеновым З.В. на основе разработок, реализованы и используются для контроля параметров безопасности ведения горных работ, а также прогноза зоны посадки пород основной кровли и оценки степени опасности возникающих при этом динамических явлений.

Директор шахтоуправления Комсомolec

И.В. Готин

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яновский А.Б. Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России // Уголь. 2017. № 8. С. 10-14.
2. Яновский А.Б. Уголь: битва за будущее // Уголь. 2020. № 8. С. 9-14.
3. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года // Уголь. 2021. № 3. С. 27-43.
4. Губанов Д.А. Производство и поставки угля в России / Информационно-аналитический обзор (декабрь 2020). М.: ЦДУ ТЭК. 2021. 29 с.
5. Распоряжение Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р «Об утверждении Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года».
6. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-сентябрь 2020 года // Уголь. 2020. № 12. С. 31-43.
7. Филатов Ю.М., Ли Х.У., Павлов А.Ф. и [др.] Совершенствование и развитие системы оперативного управления охраной труда и промышленной безопасностью // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 9. С. 22-25.
8. Ордин А.А., Тимошенко А.М., Мешков А.А., Волков М.А. Оптимизация длины и производительности очистного забоя шахты им. В.Д. Ялевского // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 48. С. 199-207.
9. Политика и цели в области промышленной безопасности, охраны труда и охраны окружающей среды АО «СУЭК-Кузбасс» на 2018 – 2020 г. Версия 7.0 // АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, 2018. 150 с.
10. Мельников Н.Н., Опарин В.Н., Новопашин М.Д., Яковлев В.Л., Мамаев Ю.А., Потапов В.П. О фундаментальных проблемах освоения месторождений полезных ископаемых России и основных направлениях развития горных наук // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: Труды конференции с участием иностранных ученых. – Новосибирск: ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2007. С. 5 – 23.

11. Шемякин Е.И., Курленя М.В., Кулаков Г.И. К вопросу о классификации горных ударов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1986. № 5. С. 3-11.

12. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов// М.: Недра. 1983. 279 с.

13. Зыков В.С., Филатов Ю.М. Проявление опасности по газодинамическим явлениям в очистных забоях угольных шахт // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 441-445.

14. Зыков В.С., Абрамов И.Л., Торгунаков Д.В. Статистика динамических явлений в шахтах и уточнение их классификации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №6. С. 297-319.

15. Ермолаев А.М., Ли Х.У., Филатов Ю.М. К проблеме разработки мощных угольных пластов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2013. № 1-1. С. 140-146.

16. Лидин Г.Д., Воронина Л.Д., Каплунов Д.Р. и др. Горное дело: Терминологический словарь. 4-е издание, пер. и доп. – М.: Недра. 1990. 694 с.

17. Российская угольная энциклопедия. Т. 1 - М.-СПб: ВСЕГЕИ. 2004. 649 с.

18. Павлов А.Ф., Баскаков В.П., Давыдов А.В., Кондаков А.В. Состояние и основные причины крупных аварий на угольных шахтах // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2009. № 1. С. 126-132.

19. Мурашев В.И., Тимошенко А.М., Сухоруков В.А., Казанцев В.Г., Ермолаев А.М. К анализу техногенных аварий с катастрофическими последствиями, произошедших на предприятиях угольной промышленности России // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2010. № 1. С. 55-60.

20. Костеренко В.Н., Воробьева О.В. Анализ причин обрушений с целью повышения эффективности системы управления безопасностью труда

угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №6. С. 74-90.

21. Голик А.С., Галеев И.К., Ярош А.С., Попов В.Б., Муллов А.Б., Кульмухаметов В.А., Измайлов И.Р., Петров С.А., Малахов Ю.В. Концепция единой системы спасения шахтеров при авариях и катастрофах в шахтах // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. №2. С. 28-33.

22. Семенцов В.В., Осминин Д.В., Нифанов Е.В. Устойчивость выемочных горных выработок при отработке пластов с труднообрушающимися кровлями // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 3. С. 14-25.

23. Иванов В.В., Волков Н.Н., Шемякин И.И. и [др.] Прогноз устойчивости пород кровли угольных пластов // Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах: Материалы V Международной научно-практической конференции, Кемерово, 25–27 ноября 2002 года – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2002. С. 135-138.

24. Приказ Ростехнадзора от 21.08.2017 № 327 «Об утверждении Руководства по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах».

25. Зыков В.С. О механизме формирования выбросоопасной ситуации в очистном забое угольной шахты // Маркшейдерский вестник. 2016. № 5. С. 44-48.

26. Смирнов О.В., Кулик А.И., Шилов В.И., Горбачев А.С. Автоматизированный прогноз динамических явлений // Добывающая промышленность. — 2016. — № 2. — С. 58 – 65.

27. Хямяляйнен В.А., Иванов В.В., Пашин Д.С. Общая сейсмическая обстановка и сейсмоопасность шахтных полей в условиях Кузбасса // Уголь. 2015. № 9. С. 48-50.

28. Анцыферов М.С., Анцыферова Н.Г., Каган Я.Я. Сейсмоакустические исследования и проблемы прогноза динамических явлений. – М.: "Наука". 1971. 136 с.

29. Брюханов А.М., Агафонов А.В., Рубинский А.А., Колчин Г.И. // Методы и средства прогноза и предотвращения газодинамических явлений в угольных шахтах. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах. Том 3. – Донецк: Вебер. 2007. 692 с.

30. Мирер С.В., Хмара О.И., Масленщиков Е.В. О контроле выбросоопасности забоев по спектральным характеристикам акустических сигналов // Вопросы предотвращения внезапных выбросов. Научн. сообщ. ИГД им. А.А. Скочинского. 1987. С. 52-61.

31. Мирер С.В., Хмара О.И., Шадрин А.В. Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов // М. – Кемерово: Кузбассвуиздат. 1999. 92 с.

32. Шкуратник В.Л., Николенко П.В. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. М.: МГГУ, 2012. 111 с.

33. Гребенкин С.С., Павлыш В.Н., Самойлов В.Л., Петренко Ю.А. Управление состоянием массива горных пород: учебное пособие – Донецк: "ВИК". 2010. 193 с.

34. Шкуратник, В.Л. Горная геофизика. Ультразвуковые методы: учебное пособие – М.: МГИ. 1990. 104 с.

35. Николенко П.В. Аппаратурное и методическое обеспечение контроля сложного напряженного состояния массива с использованием эффекта памяти в упругих композиционных датчиках// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. №2. С. 97-104.

36. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Цирель С.В. Природно-техногенная сейсмоактивность Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 6. С 30-34.

37. Шадрин А.В. Статическая и динамическая выбросоопасность угольных пластов // Безопасность труда в промышленности. 2018. №4. С. 42-48.

38. A.Cao, G. Jing, Y-l. Ding, S. Liu. Mining-induced static and dynamic loading rate effect on rock damage and acoustic emission characteristic under uniaxial compression // Safety Science. 2019. № 116.P. 86-96.

39. Доброскок А.А., Линьков А.М., Зубков В.В. О совместном геомеханическом и геофизическом мониторинге на шахтах и рудниках // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2010. № 1. С. 16-24.

40. Батугин А.С., Петухов И.М. К оценке напряженного состояния участков земной коры // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1998. № 1. С. 146-151.

41. Ютяев Е.П. Современные вызовы и перспективы развития технологии подземной отработки пологих газоносных угольных пластов // Уголь. 2017. №5. С. 30-36.

42. Артемьев В.Б. АО "СУЭК" в 2018 году - прогрессивные технологии и инновации на службе производства // Уголь. 2019. № 3. С. 4-12.

43. Яворович Л.В. Взаимосвязь параметров электромагнитных сигналов с изменением напряженно-деформированного состояния горных пород: дис... кандидата технических наук: 25.00.20/ Томский политехнический университет. Томск. 2005. 196 с.

44. L. Qiu, Z. Li, E. Wang, Z. Liu, J. Ou, X. Li, M. Ali, Y. Zhang, S. Xia. Characteristics and precursor information of electromagnetic signals of mining-induced coal and gas outburst // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2018. Vol. 54. P. 206-215.

45. L. Qiu, E. Wang, D. Song, Z. Liu, R. Shen, G. Lv, Z. Xu. Measurement of the stress field of a tunnel through its rock EMR// Journal Geophys. 2017. Vol. 14. P. 949-959.

46. X. Song, X. Li, Z. Li, Z. Zhang, F. Cheng, P. Chen, Y. Liu. Study on the characteristics of coal rock electromagnetic radiation (EMR) and the main influencing factors // Journal of Applied Geophysics. 2018. Vol. 148. P. 216-225.

47. Rabinovitch A., Frid V., Bahat D. Surface oscillations-A possible source of fracture induced electromagnetic radiation // Tectonophysics. 2007. Vol. 431. P. 15-21.

48. D. Song, E. Wang, X. Song, P. Jin, L. Qiu. Changes in frequency of electromagnetic radiation from loaded coal rock // Rock Mech Rock. 2016. Vol. 49. P. 291-302

49. D. Song, E. Wang, X. He, H. Jia, L. Qiu, P. Chen, S. Wang. Use of electromagnetic radiation from fractures for mining-induced stress field assessment // Journal Geophys. 2018. Vol. 15. P. 1093-1103.

50. Liu X., Wang E. Study on characteristics of EMR signals induced from fracture of rock samples and their application in rockburst prediction in copper mine // Journal Geophys. 2018. Vol. 15. P. 909-920.

51. Вострецов А.Г., Кривецкий А.В., Бизяев А.А., Яковицкая Г.Е. Характеристики электромагнитного излучения горных пород при их разрушении в лабораторных экспериментах // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2013. № 2. С. 46-54.

52. Курленя М.В., Вострецов А.Г., Кулаков Г.И., Яковицкая Г.Е. Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород // Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН. 2000. 232 с.

53. Мулёв С.Н., Старников В.Н., Романевич О.А., Современный этап развития геофизического метода регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) // Уголь. 2019. № 10. С. 6-14.

54. Бизяев А.А., Воронкина Н.М., Савченко А.В., Цупов М.Н. Методика бесконтактного определения опасно нагруженных зон в массиве горной выработки // Уголь. 2019. № 11. С. 27-31.

55. Бизяев А.А., Вострецов А.Г., Яковицкая Г.Е. Регистрационно-диагностический комплекс РДК РЭМИ-3 и экспериментальные исследования

разрушения горных пород в условиях подземных горных выработок Таштагольского месторождения // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2015. № 3. С. 29-38.

56. Беляева Л.И. Методика прогноза удароопасного состояния массива в сейсмогеологических условиях поля шахты «Комсомольская» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 9. С. 264-271.

57. Яковлев Д.В., Мулев С.Н., Удалов А.Е. Система сейсмодиформационного мониторинга в рамках многофункциональной системы безопасности для угольных шахт // Уголь. 2014. № 10. С. 35-39.

58. Логинов А.К., Беляева Л.И., Мулев С.Н. Результаты сейсмического контроля на шахте "Комсомольская" ОАО "Воркутауголь" // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 6. С. 347-352.

59. Зеляева Е.А., Разумов Е.А., Венгер В.Г., Григорьева Т.О. Прогнозирование параметров зон предразрушения горных пород в окрестности подземных выработок угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 49. С. 283-289.

60. Цирель С.В., Шванкин М.В., Василенко Т.А., Бондарев А.В. Комплексная оценка геодинамических рисков при интенсивной отработке мощных пологих угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 49. С. 516-524.

61. Семенцов В.В., Осминин Д.В., Нифанов Е.В. Устойчивость выемочных горных выработок при отработке пластов с труднообрушающимися кровлями // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 3. С. 14-25.

62. Разумов Е.Е., Простов С.М., Мулёв С.Н., Рукавишников Г.Д. Алгоритмы обработки сейсмической информации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 2. С. 17-29.

63. Яковлев Д.В., Мулёв С.Н., Цирель С.В., Удалов А.Е. Комплексная система сейсмодиформационного мониторинга и локального контроля НДС массива горных пород в рамках многофункциональной системы безопасности

для угольных шахт и рудников // Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах. Новосибирск. 2019. С. 246-267.

64. Анохин А.Г., Семенько К.А., Дарбинян Т.П., Цирель С.В., Мулёв С.Н. Методология учета степени влияния нарушенности рудопородного массива на сейсмический риск // Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах. Новосибирск. 2019. С. 268-275.

65. Яковлев Д.В., Цирель С.В., Мулёв С.Н., Опарин В.Н., Востриков В.И., Усольцева О.М. Техногенная сейсмичность на рудниках Норильска и методы ее анализа // Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах. Новосибирск. 2018. С. 200-215.

66. Кубрин С.С., Журавлев Е.И. Контроль геодинамического и газодинамического состояния массива горных пород // Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. 2016. С. 19-25.

67. ИПКОН РАН - 50 лет становления и развития горных наук / Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН. Москва. 2017. – 360 с.

68. Разумов Е.Е., Рукавишников Г.Д., Мулёв С.Н., Простов С.М. Анализ сейсмической активности массива при ведении горных работ на шахте «Комсомольская» АО «ВОРКУТАУГОЛЬ» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 1. С. 104-114.

69. Ройтер М., Крах М., Кисслинг У., Векслер Ю., Копылов К.Н., Костеренко В.Н., Смирнов Р.О., Аксенов З.В. Сейсмоакустический

мониторинг автоматизированной лавы // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2019. Т.6. № 1. С. 207-211.

70. Ройтер М., Крах М., Кисслинг У., Векслер Ю. Мониторинг геомеханического состояния очистного забоя угольной шахты в системе управления марко «Цифровая шахта» // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т. 1. № 3. С. 156 - 163.

71. Ройтер М., Крах М., Кисслинг У., Векслер Ю. Роботизация очистного забоя - полностью автоматизированная высокопроизводительная лава с системой управления «Marco» «robotic mining» (шахта «Полысаевская») // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017. Т. 4. № 2. С. 263-269.

72. Копылов К.Н., Смирнов О.В., Кулик А.И. Акустический контроль состояния массива и прогноз динамических явлений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 2. С. 82-88.

73. Гликман А.Г. Поля упругих колебаний в горных породах. – Л. 1984. – Деп. в ОЦНТИ ВИЭМС 10.04.1985 – Деп. 63 с.

74. Лунев С.Г., Колчин Г.И. Акустический контроль выбросоопасности в очистном забое / Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб. науч. тр., Макеевка: МакНИИ. 2004. С. 97–107.

75. Бобров А.И., Агафонов А.В., Колчин Г.И. Контроль динамических процессов в призабойной части горного массива / Проблемы геодинамической безопасности. II международное рабочее совещание. 24–27 июня 1997. СПб.: ВНИМИ. 1997. С. 142–145.

76. Костеренко В.Н., Смирнов Р.О., Аксенов З.В. Динамика газовыделений в очистных забоях // Горная промышленность. 2019. № 2. С. 52-55.

77. Смирнов О.В., Кулик А.И. Перспективы применения акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 5. С. 352-359.

78. Копылов К.Н., Смирнов О.В., Кулик А.И., Потапов П.В. Испытания автоматизированной системы акустического контроля // Уголь. 2015. № 7. С. 44-48.

79. Беликов В.Т., Рывкин Д.Г. Использование амплитудно-частотного спектра акустической эмиссии для восстановления функции распределения трещин по размерам // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей, Екатеринбург, 12–17 сентября 2011 года / Институт геофизики УрО РАН, Российский фонд фундаментальных исследований, Уральское отделение Евро-Азиатского геофизического общества. Екатеринбург: УрО РАН. 2011. – С. 34-37.

80. Беликов В.Т., Рывкин Д.Г. Использование данных наблюдений акустической эмиссии для изучения структуры горных пород // Уральский геофизический вестник. 2014. № 1. С. 11-21.

81. Смирнов О.В., Кулик А.И., Лапин Е.А. Прогноз геологических нарушений по параметрам акустического сигнала // Уголь. 2015. № 11. С. 76-79.

82. Иванов В.В., Зыков В.С., Семенцов В.В. Моделирование спектрального состава сейсмических волн промышленных взрывов на разрезах // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2018. № 3. С. 5-8.

83. Лапин С.Э. Методология построения и практика применения геоинформационной системы прогноза динамики состояния горного массива в процессах подземной разработки угольных месторождений: дисс... доктора Технические науки: 25.00.35 / ФГБУН Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук. 2020. 243 с.

84. ГОСТ Р 55154-2012. Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования. М.: Стандартинформ. 2014. 24 с.

85. Басаргин А.А. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 1. № 1. С. 15-20.

86. Сапронова Н.П., Федотов Г.С. Особенности моделирования пластовых месторождений в среде ГГИС Micromine // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 1. С. 38-45.

87. Васильев И.Д., Мельникова О.А. Решение прикладных горно-геологических задач с использованием программного обеспечения Gemcom // Горная промышленность. 2011. № 5. С. 90-92.

88. Eugene B.A., Kalantari S., Pourrahimian Y., Hooman A.N. Hierarchical mine production scheduling using discrete-event simulation // International Journal of Mining and Mineral Engineering. 2010. Vol. 2. No 2. P. 137-158.

89. H. Pang, Q. Wu, J. Deng, H. Gao. The mine management information system based on GIS and Surpac // Proceedings - 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII 2010. Yunnan Normal University, Xi'an University of Technology. – Kunming. 2010. P. 264-267.

90. Иванова Н. С., Копанев С.А. Геоинформационные технологии в недропользовании, на примере горно-геологического программного обеспечения GEOVIA Surpac, частично адаптированного и рекомендуемого для дальнейшего использования на горнорудных предприятиях холдинга УГМК // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: Сборник докладов, Екатеринбург, 05–13 апреля 2016 года: Уральский государственный горный университет. 2016. С. 159-165.

91. Faber R., Domej G. 3D Computer-Assisted Geological Mapping: Testing WinGeol's FaultTrace for semi-automatic structural geological assessment // Russian Journal of Earth Sciences. 2021. Vol. 21. No 1. P. 1-19.

92. Наговицын О.В., Лукичев С.В. Горно-геологические информационные системы, область применения и особенности построения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. С. 71-83.

93. Otto R., Button E. The Application of TRT –True Reflection Tomography – at the Unterwald Tunnel. FELSBAU. 2002. Vol 20. №2. P. 51-56.
94. Zhao Yong Gui, JiangHui, Heidi Zhao. Implement TST Geological Prediction Solution in TBM Environment. BeiJingTongDu Engineering Geophysics Corp. 2010. Vol. 10. P. 1-3.
95. Гликман А.Г. Спектральная сейсморазведка – истоки и следствия. [Эл. ресурс] // URL: <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml>.
96. Гликман А.Г. Физика и практика спектральной сейсморазведки. [Эл. ресурс] //URL: <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml>.
97. Гликман А.Г. Прогноз внезапных выбросов угля и газа на базе акустических измерений. /Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции «Геомеханические проблемы высокопроизводительной разработки тонких и средней мощности угольных пластов на глубоких горизонтах». // Донецк: ДПИ. 1980. С. 108-109.
98. Гликман А.Г. Некоторые явления и эффекты, возникающие при формировании и распространении поля упругих колебаний в твердых средах. Деп. 322 - В95. М.:ВИНИТИ, 1995.
99. Андреев В.П., Гликман А.Г. Геоакустический метод выявления поверхностей ослабленного механического контакта //Уголь. 1985. № 9. С. 52-54.
100. Гликман А.Г. Экспериментальное изучение структурных и спектральных характеристик поля упругих колебаний. СПб.: СПбГИ. 1992. 18 с.-Деп. в ВИНИТИ, М. № 3312-В 92.
101. Гликман А.Г. О формировании упругих колебаний в слоистых средах. // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1999. № 6 С. 25-29.
102. Лунев С.Г., Колчин Г.И. Оценка состояния массива по результатам импульсного возбуждения // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. — Макеевка: МакНИИ, 2001. Ч. 1. С. 101–108.

103. Шадрин А.В., Диук Ю.А., Телегуз А.С. Применение акустических методов для управления параметрами гидрообработки горного массива и оценки ее эффективности // Горная промышленность. 2018. №2. С. 79-82.

104. Шадрин А.В., Коноваленко В.А. Основы автоматизированного непрерывного ГДЯ-мониторинга в угольных шахта Кузбасса // Вестник КузГТУ. 2001. №3. С. 28-31.

105. Шадрин А.В., Абрамов И.Л. Исследование спектров акустического излучения горного оборудования, используемого для контроля напряженного состояния призабойного пространства // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2019. № 5. С. 22-29.

106. Герике Б.Л., Абрамов И.Л., Герике П.Б., Мещерина Ю.А. Спектральный состав нагрузки в приводе резания проходческого комбайна // Вестник КузГТУ. 2007. № 5. С. 9-12.

107. Копылов К.Н., Смирнов О.В., Кулик А.И., Пальцев А.И. Автоматизированная система контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений. // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 8. С. 32–37.

108. Коптиков В.П., Бокий Б.В., Бабенко И.В., Колчин Г.И. Контроль безопасности бурения скважин по параметрам акустического сигнала: сб. науч. тр. — Макеевка: МакНИИ. 2005. С. 76–88.

109. Колчин Г.И., Сапунов М.С., Бунчиков В.Н., Радченков А.А. Исследование характера изменения параметров акустического сигнала при бурении скважин в забое // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах – Макеевка: МакНИИ. 1998. С. 153–160.

110. Куксенко В.С., Махмудов Х.Ф., Манжиков Б.Ц. Концентрационная модель разрушения твердых тел и прогнозирование катастрофических ситуаций крупномасштабных объектов // ФТПРПИ. 2010. № 4. С. 29 – 40.

111. H. Li, C. Yang, W. Zhao, et al. Experimental Studies of Failure Characteristics and Evolution Laws of Ultrasonic Velocity and Acoustic Emission

for Salt Rock under Triaxial Loading // Rock Soil Mech. 2016. Vol. 37. P. 2458–2466.

112. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. — М.: Из-во МГГУ. 2004. 262 с.

113. Vysotin N.G., Kosyreva M.A., Leyzer V.I., Aksenov Z.V. Design rationale for engineering multipurpose bench for physical simulation of geomechanical processes in secondary stress fields under conditions of mining with convergent geotechnologies // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2019. № 10. P. 131-145.

114. Аксенов З.В. Обзор методов геоконтроля, реализуемого в угольных шахтах // Безопасность технологических процессов и производств: Труды III Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 26 мая 2021 г.: Уральский государственный горный университет. 2021. С. 4-8.

115. Мирный В.В., Гетьманова Е.В. Опыт перехода очистными работами зоны повышенного горного давления первой категории опасности в сложных горно-геологических условиях // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2009. № 5-1. С. 441-450.

116. Торро В.О., Ремезов А.В. Исследование изменений геомеханического состояния массива при входе очистных забоев в демонтажные камеры по пласту «Байкаимский» шахты им. «7 ноября» АО «СУЭК-Кузбасс» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 4. С. 75-84.

117. Лис С.Н. Результаты исследований волновых свойств опорного давления под целиками и краевыми частями угольных пластов // Евразийский союз ученых. 2019. № 8-3. С. 35-47.

118. Казанин О.И., Сидоренко А.А., Ермаков А.Ю., Ванякин О.В. Исследование влияния зон повышенного горного давления на показатели работы длинных очистных забоев при отработке свит угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015 № 4. С. 21-25.

119. Трофимов В.А., Малинникова О.Н., Филиппов Ю.А. Оценка расслоения пород кровли при отработке угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 2. С. 119-126.

120. Разумов Е.А. Оценка факторов сложности условий ведения горных работ на современных угольных шахтах // Уголь. 2019. № 10. С. 16-21.

121. Петухов И.М. Горные удары на угольных шахтах. – 2-е изд., перераб. и доп. // СПб.: ФГУП «Гос. НИИ горн. геомеханики и маркшейд. Дела – МНЦ ВНИМИ». 2004. 237 с.

122. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр // М.: Горная книга. 1999. 288 с.

123. Приказ Ростехнадзора от 10.12.2020 № 515 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений» (Зарегистрировано в Минюсте РФ от 30.12.2020 № 61949).

124. Харитонов И.Л., Ремезов А.В. Исследование опорного давления при подвигании очистного забоя пологих угольных пластов на ранее пройденные выработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 4. С. 292-299.

125. Шевченко Л.А. Предупреждение газодинамических явлений в шахтах // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 26–27 ноября 2019 г.: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. 2019. С. 110-1-110-4.

126. Риб С.В., Никитина А.М., Борzych Д.М. Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по первому слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликтивных нарушений с дробленными и обводненными породами в условиях ОАО "шахта "Сибиргинская" // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2013. № 3. С. 24-27.

127. Крекова А.В. К вопросу построения границ опасных зон у геологических нарушений // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2009. № 3. С. 7-10.

128. Фейт Г.Н., Малинникова О.Н. Причины повышенного метановыделения при внезапных выбросах угля и газа в шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 4. С. 206-211.

129. Казаков С.П., Ли К.Х. Текущий прогноз метановыделения в выработки при современных темпах проходки // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2013. № 1-1. С. 24-28

130. Ли К.Х. Текущий прогноз метановыделения и параметров проветривания при проведении подготовительных выработок // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2014. № 1. С. 83-85.

131. Попов Ю.Н. Основные элементы тектоники Ленинского каменноугольного района Кузбасса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 1965. Том №. 135. С. 74-81.

132. Угольная база России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). М.: ООО «Геоинформцентр». 2003. 604 с.

133. Артемьев В.Б., Коршунов Г.И., Логинов А.К., Шик В.М. Динамические формы проявлений горного давления. СПб.: Наука. 2009. 347 с.

134. Костеренко В.Н., Воробьева О.В., Артемьев В.Б., Руденко Ю.Ф., Копылов К.Н., Аксенов В.В., Абашев А.А., Тимченко А.Н., Перцев А.Ф., Шаров С.А., Волошин А.А. Обрушение горных выработок – М.: Горное дело. 2015. 536 с.

135. Клишин В.И., Рашевский В.В., Артемьев В.Б. и др. Труднообрушаемые кровли: проблемы и решения для механизированных забоев современного технического уровня угольных шахт. М.: Горное дело. 2016. 480 с.

136. Захаров В.Н., Малинникова О.Н. Особенности разрушения призабойной зоны угольного пласта // Триггерные эффекты в геосистемах: Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания, Москва, 16-19 июня 2015 г.: Институт динамики геосфер РАН. 2015. С. 34-35.

137. Аксенов З.В. Исследование межслоевых деформаций, возникающих при посадке основной кровли угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 9. С. 23–35.

138. Брюханов А.М., Агафонов А.В., Рубинский А.А., Колчин Г.И. Акустический контроль выбросоопасности / Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах. Том 3. Донецк: Вебер. 2007. 692 с.

139. Колчин Г.И., Сапунов М.С., Бунчиков В.Н., Радченко А.А. Исследования характера изменения параметров акустического сигнала при бурении скважин в забое // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Макеевка: МакНИИ. 1998. С. 153-160.