

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Кулакова Светлана Ивановна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УГЛЕДОБЫЧИ
МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ
В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ МЕТАНООБИЛЬНОСТИ**

Специальность

25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая, строительная)»

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент Е. С. Смекалин

Алчевск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ ПРИЧИН НИЗКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УГЛЕДОБЫЧИ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ И РОЛИ ГАЗОВОГО ФАКТОРА НА ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ ПЛАСТАХ.....	
1.1 Эффективность эксплуатации современных механизированных комплексов в условиях высокой метанообильности.....	12
1.2 Влияние параметров угледобычи на ограничивающее действие газового фактора.....	19
1.3 Методы исследования влияния угледобычи на газообильность горных выработок.....	34
1.4 Цель и задачи исследований.....	40
Выводы по разделу 1.....	42
РАЗДЕЛ 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ УГЛЕДОБЫЧИ И МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ.....	
2.1 Методика проведения шахтных инструментальных наблюдений.....	44
2.2 Результаты проведенных наблюдений и их первичный анализ.....	49
2.3 Обоснование выбора математических методов анализа динамических процессов.....	60
Выводы по разделу 2.....	64
РАЗДЕЛ 3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗИ УГЛЕДОБЫЧИ, МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ И ПРОЦЕССОВ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД.....	
3.1 Анализ временных рядов метановыделения и влияющих на него факторов.....	65

3.2 Идентификация факторов, влияющих на динамику метановыделения.....	78
3.3 Математическая модель зависимости метановыделения от суточной угледобычи	86
3.4 Оценка точности и надежности разработанной модели	105
Выводы по разделу 3.....	109
РАЗДЕЛ 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ	
4.1 Методика планирования суточной угледобычи на основе текущего прогноза максимально допустимой нагрузки по газовому фактору.....	110
4.2 Выбор технологической схемы выемочного участка для отработки высокогазоносных пластов.....	114
4.3 Техническое решение по снижению аэродинамического сопротивления механизированной крепи.....	123
4.4 Оценка удельного аэродинамического сопротивления механизированной крепи с парусным устройством.....	130
4.5 Обоснование длины лавы при использовании механизированной крепи с парусным устройством.....	137
Выводы по разделу 4.....	141
РАЗДЕЛ 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	
5.1 Планирование суточной производительности механизированного комплекса с учетом газового фактора	143
5.2 Опытно-промышленная проверка эффективности парусного устройства применительно к крепи 3М90Т	147
Выводы по разделу 5.....	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	154
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	159

Приложение А Экспериментальные данные результатов замера метановыделения, объемов добычи и интенсивности акустической эмиссии в 28 орловской лаве ш. «Молодогвардейская»	175
Приложение Б Программа «ПРОГНОЗ».....	205
Приложение В Результаты опытно-промышленной проверки разработанных технико-технологических решений.....	212

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Эффективность использования дорогостоящих современных механизированных комплексов на выемочных участках Донбасса ограничивается низким уровнем освоения их технической производительности. По нормативам нагрузки на механизированные комплексы, разработанные ДонУГИ на основе обобщения фактических показателей работы по формам отраслевой отчетности 110.ОП и 12ОП.ГВЦ на 2001-2003 г., средний коэффициент машинного времени, характеризующий уровень освоения технической производительности, составляет 0,25–0,37, и поэтому средняя нагрузка на механизированный комплекс в 2–3 раза ниже его технически возможной. Например, для механизированного комплекса ЗМКД 90 нормативная производительность составляет 1660 т/сут, а освоенный уровень — 3500–4300 т/сут с коэффициентом машинного времени 0,7–0,8.

Основными причинами низкого коэффициента машинного времени являются простои, обусловленные горно-геологическими условиями, а также сбои в технологической схеме шахты и выемочного участка. Следствием потерь добычи из-за частых простоев оборудования является крайне неравномерный, нередко на пределе технической производительности, режим нагрузки на очистное оборудование. На высокогазоносных пластах стремление компенсировать потери добычи часто приводит к превышению допустимого по газовому фактору уровня нагрузки на очистной забой, что сопровождается срабатыванием датчиков автоматического газового контроля (АГК) и дополнительным снижением коэффициента машинного времени.

Превышение допустимой нагрузки по газовому фактору является одной из причин загазований и газовых аварий. После массовых газовых аварий Госгорпромнадзором Украины, на основе заключения группы экспертов, было вынесено решение о запрещении применения схем вентиляции типа 1М с направлением исходящей струи на массив при отработке газоносных пластов. Недостатком схем проветривания 1В–3В, рекомендуемых для отработки

выемочных участков на высокогазоносных пластах, являются большие утечки воздуха из очистного забоя в выработанное пространство, в результате чего существенно снижается допустимый уровень нагрузки по газовому фактору.

Действующим нормативным документом [1] не предусмотрено оперативное ежесуточное планирование добычи на основе учета естественного дегазирования во время предшествующего простоя очистного забоя. В связи с этим исследование параметров угледобычи механизированными комплексами в условиях высокой метанообильности является актуальным.

Степень разработанности проблемы исследования. Методической основой для проектирования нагрузки на очистной забой является расчет ожидаемой метанообильности выемочного участка по фактическим значениям метановыделения [1]. Исследованиями целого ряда научно-исследовательских институтов, вузов и производственных объединений: ИУУ СО РАН, АО «НЦ ВостНИИ», ИГТМ АН Украины, МакНИИ, ДонНТУ, ДонГТУ и др. установлено, что при высокой интенсивности угледобычи наблюдается существенное расхождение между ожидаемой и фактической метанообильностью. Значимый вклад в разработку вопросов, связанных с обоснованием объемов добычи угля при отработке высокогазоносных пластов современными производительными комплексами внесли А. А. Белодедов, Б. В. Бокий, В. С. Забурдяев, М. П. Зборщик, М. А. Ильяшов, Б. Н. Иотенко, О. И. Касимов, В. К. Костенко, Ю. В. Кудинов, А. А. Ордин, Г. Я. Полевщиков, Л. А. Пучков, Г. П. Стариков, Г. П. Стукало и другие. Общеизвестно, что применяемые методические разработки требуют уточнения. Установлено, что процесс выделения метана в лавах имеет циклический характер, связанный с периодичностью изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Существует теоретически обоснованная методика прогноза текущей динамики метанообильности на основе учета физических законов массопереноса. Однако в построении математической детерминированной модели процесса недостаточно полно учтено влияние геомеханических процессов в выработанном пространстве, так как их математическое описание до сих пор не завершено. Методика решает

проблему обоснования предельно допустимой нагрузки на очистной забой для оперативного планирования суточной угледобычи выемочного участка. Сложность предлагаемого подхода заключается в необходимости проведения шахтными службами специальных лабораторных ежесуточных анализов шахтных проб, требующих соответствующего оборудования и квалификации.

В исследованиях процесса метановыделения методами спектрального анализа выявлено, что аномально высокие колебания являются результатом наложения трендовых, низкочастотных и высокочастотных составляющих газодинамического процесса и разработана методика их прогноза. В продолжение этих исследований для построения статистических моделей оперативного прогнозирования предельно допустимой нагрузки на очистной забой целесообразно установить взаимосвязи метанообильности с процессами выемки и геомеханики. Помимо этого, необходима разработка технико-технологических решений по снижению концентрации метана на исходящей струе воздуха при применении рекомендуемых схем проветривания типа (1-3) В за счет уменьшения утечек воздуха в выработанное пространство.

Объектом исследования являются параметры угледобычи механизированными комплексами в условиях высокой метанообильности.

Предмет исследования — закономерности влияния процесса угледобычи на метановыделение в очистном забое.

Цель работы — обоснование параметров технологии отработки высокогазоносных угольных пластов, обеспечивающих повышение производительности механизированных комплексов.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие основные **задачи исследования**:

- разработать методику проведения шахтных инструментальных наблюдений и исследований влияния параметров угледобычи на геомеханические и газодинамические процессы при отработке высокогазоносных угольных пластов;
- обосновать математическую модель влияния угледобычи на процессы метановыделения и геомеханики выработанного пространства;

– разработать методику планирования суточной угледобычи на основе текущего прогноза максимально допустимой нагрузки по газовому фактору;

– разработать и обосновать параметры конструктивных и технологических решений, повышающих производительность механизированных комплексов в условиях высокой метанообильности;

– выполнить опытную проверку в шахтных условиях разработанных конструктивных и технологических решений и оценить их технико-экономическую эффективность.

Научная новизна исследований состоит в следующем:

1. Впервые установлено, что каждое суточное значение угледобычи оказывает значимое влияние на метановыделение в течение 2-3 последующих суток и эта закономерность описывается статистической моделью с распределенным лагом.

2. Впервые установлено, что при увеличении нагрузки на очистной забой в спектрах угледобычи и метановыделения возникает значимая когерентность частот с периодом 24, 12 и 6 часов, свидетельствующая об определяющем вкладе технологических и организационных циклов угледобычи в детерминированность процесса метановыделения.

3. Впервые доказана возможность снижения аэродинамического сопротивления механизированной крепи на 60 % за счет изолирования зоны повышенного аэродинамического сопротивления (элементов конструкции ограждения, задней гидростойки и сети высоконапорных шлангов) от проходящего по лаве воздушного потока, что позволит увеличить расход воздуха и предельно допустимую нагрузку на очистной забой.

4. Впервые для проектирования отработки высокогазоносных пластов предложен критерий оптимизации длины лавы, заключающийся в максимальном приближении предела нагрузки по газовому фактору к техническому пределу производительности механизированного комплекса и обеспечивающий повышение угледобычи за счет минимизации простоев по газовому фактору.

Теоретическая значимость работы. В теории описания случайного процесса метановыделения произведена идентификация циклических компонент, вносящих основной вклад в неравномерность процесса при высоких нагрузках, заключающаяся в установлении их когерентности с технологической и организационной циклическостью процесса выемки. Теоретически обосновано существование временного периода, в течение которого суточный объем угледобычи влияет на последующее метановыделение, что создает основу для прогнозирования этого влияния и надежного обоснования максимально допустимой нагрузки по газовому фактору.

Отдельные положения диссертационной работы используются для профессиональной специализации преподавания предметов математического профиля при подготовке обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Подземная разработка пластовых месторождений».

Практическая значимость работы. Разработана методика текущего планирования угледобычи на основе прогнозирования производительности механизированного комплекса по газовому фактору, позволяющая сократить потери рабочего времени при срабатывании АГК. Сконструировано устройство и разработана технология его применения для уменьшения аэродинамического сопротивления механизированной крепи.

Методология и методы исследования. При установлении взаимосвязи процессов метановыделения, угледобычи и геомеханики массива горных пород использованы методы многомерного статистического анализа временных рядов, включающие спектральный и корреляционный анализ. Математическое описание взаимосвязи процессов производилось с помощью регрессии с распределенным лагом и авторегрессии. Для уменьшения ошибок математической модели использован адаптационный алгоритм. В исследованиях управления воздушными потоками путем изменения аэродинамического сопротивления механизированной крепи использован принцип электрогидродинамических аналогий (ЭГДА). В шахтных инструментальных исследованиях применялись поверенные средства

измерений и приборы. Измерения производились согласно нормативным методикам и инструкциям.

Положения, выносимые на защиту:

1. Влияние суточной угледобычи на метановыделение проявляется в течение 2-3 суток и описывается регрессионной моделью с распределенным лагом, что позволяет использовать ее для текущего прогноза предела нагрузки на механизированный комплекс по газовому фактору.

2. Аэродинамическое сопротивление очистного забоя уменьшается путем изолирования зоны повышенного аэродинамического сопротивления механизированной крепи (элементов конструкции ограждения, задней гидростойки и сети высоконапорных шлангов) от воздушного потока лавы, что позволяет повысить расход воздуха в очистном забое и за счет этого увеличить предельно допустимую нагрузку по газовому фактору.

3. Оптимизация длины очистного забоя по критерию максимального приближения предела нагрузки по газовому фактору к техническому пределу производительности механизированного комплекса обеспечивает повышение угледобычи за счет сокращения простоев из-за срабатывания АГК.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных и технологических решений, обоснованность выводов и рекомендаций подтверждаются достаточным объемом проанализированных инструментальных наблюдений за процессами выемки угля, газовыделения и геомеханическими процессами в выработанном пространстве, использованием нормативных методик и инструкций измерения их параметров, адекватностью разработанных математических моделей, удовлетворительной сходимостью расчетных и фактических данных, относительной ошибкой аппроксимации полученных зависимостей, не превышающей 20 %.

Основные положения диссертации и отдельные результаты исследований обсуждались и были одобрены на международных научно-практических конференциях: «Современные технологии и оборудование для добычи угля подземным способом» (г. Донецк, 2008), «Прикладные задачи математики и

механики» (г. Севастополь, 2008), «Школа подземной разработки-2010» (г. Днепропетровск, 2010), «Форум горняков-2012» (г. Днепропетровск, 2012), «Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий» (г. Донецк, ДонНТУ, 2019), «Актуальные проблемы геомеханики и геотехнологии добычи полезных ископаемых» (Алчевск, ДонГТИ, 2020), «65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации» (Алчевск, ДонГТИ, 2022).

Личный вклад автора состоит в формулировании цели, задач исследования; сборе и обобщении фактических данных по процессам угледобычи, метановыделения и геомеханики; в обосновании методов обработки результатов шахтных наблюдений, в разработке математической модели взаимосвязи процессов метановыделения и суточной угледобычи; разработке алгоритма и программы текущего прогнозирования максимальной нагрузки на механизированный комплекс по газовому фактору; в решении задачи по определению аэродинамического сопротивления очистного забоя методом ЭГДА.

Публикации. Основные положения исследований отображены в 5 печатных работах, опубликованных в рецензируемых научных журналах и изданиях, утвержденных ВАК ЛНР и РФ, в 5 профессиональных изданиях, в материалах 7 международных научных конференций, получен 1 патент на полезную модель.

Структура диссертации. Работа изложена на 222 страницах (из них 158 страниц – основной текст) и включает введение, 5 разделов (18 подразделов), выводы к разделам, заключение. Содержит 56 рисунков, 33 таблицы, список литературных источников из 101 наименования и 3 приложения.

1 АНАЛИЗ ПРИЧИН НИЗКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УГЛЕДОБЫЧИ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ И РОЛИ ГАЗОВОГО ФАКТОРА НА ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ ПЛАСТАХ

1.1 Эффективность эксплуатации современных механизированных комплексов в условиях высокой метанообильности

Достигнутый уровень механизации отработки пластовых угольных месторождений создан усилиями целого ряда научно-исследовательских, проектных и профильных учебных вузов: ИГД им. Скочинского, ДонУГИ, КузНИУ, ПечорНИУИпроект, ПНИУИ, ШахтНИУИ, ВостНИИ, МакНИИ, МГИ и др. Обобщение опыта работы и принципы расчета эксплуатационных характеристик механизированных комплексов изложены в нормативном документе [2]. Технологическая схема отработки выемочного участка включает оборудование для механизации очистных работ, а также качественные и количественные характеристики, задающие условия его эксплуатации. К основным качественным характеристикам относят систему разработки, направление отработки выемочного столба, схему проветривания, условия и средства поддержания. От выбора системы разработки существенно зависит своевременный срок ввода в эксплуатацию выемочных участков и длительность их отработки, что сказывается на ритмичности и непрерывности работы шахты [3].

Окупаемость затрат на оборудование, проведение и поддержание выработок должны обеспечиваться наиболее полным использованием установленных мощностей электродвигателей, технической производительности машин и механизмов. Степень освоения технически возможного уровня угледобычи из очистных забоев зависит от большого числа факторов. В связи с этим неоднократно предпринимались попытки анализа возможных причин простоев и их длительности. Так, в статье [4] авторы исследовали влияние на надежность очистных процессов таких факторов, как мощность пласта, угол его падения,

глубина разработки, природная газоносность пласта, коэффициент устойчивости вмещающих пород, коэффициент, отражающий склонность пласта к внезапным выбросам угля и газа, коэффициент, отражающий поддержание горных выработок в км на 1000 тонн суточной добычи, длина очистных забоев. В качестве показателя надежности, который, по сути, является коэффициентом машинного времени, было принято отношение величин, рассчитанных по формуле:

$$k_{ноч} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n \tau_i} \quad (1.1)$$

где t_{pi} — интервал между отказами, час;

τ_i — время, затраченное на устранение отказа, час;

n — количество отказов за время работы лавы.

Не вдаваясь в детальный анализ полученных парных уравнений регрессии, следует обратить внимание на то, что авторами статьи доказана существенная взаимосвязь между показателем надежности $k_{ноч}$ и относительной метанообильностью угольных пластов. Отсюда вытекает необходимость непосредственного учета этого фактора при разработке множественной регрессионной модели, а также его важность при обосновании среднесуточной добычи угля из лавы. В то же время следует обратить внимание и на то, что в сложившейся практике решения данного вопроса более целесообразным является учет не относительного, а абсолютного метановыделения пластов как наиболее информативного показателя, влияющего на добычу из лавы.

Согласно методике, приведенной в документе [5], среднесуточная угледобыча определяется по формуле

$$A_{сут} = T_{см} \cdot n_{см} \cdot q \cdot k_m \quad (1.2)$$

где $T_{см}$ — длительность рабочей смены, мин;

$n_{см}$ — количество рабочих смен по добыче угля;

q — средняя производительность комбайна, т/мин;

k_m — средний коэффициент машинного времени.

Как показано в работе [4], коэффициент машинного времени задается объективными факторами, не зависящими от человека, и субъективными факторами, включающими качество обслуживания оборудования, ошибки в организации работ и т.п. Поэтому на практике коэффициент может колебаться в широких пределах.

На основе обобщения фактических показателей работы механизированных комплексов устаревшей конструкции в Донбассе по формам отраслевой отчетности 110.ОП и 12ОП.ГВЦ на 2001–2003 гг. средний коэффициент машинного времени составил $k_m = 0,22$, для современных механизированных комплексов — $k_m = 0,32$ [6]. По фактическим данным для шахт Донбасса $k_m = 0,5–0,7$ [4]. Отсюда следует, что технически возможный уровень производительности в 2–3 раза выше среднего. Например, для механизированного комплекса ЗМКД90 технически возможный уровень добычи может достигать 3500–4300 т/сут (при коэффициенте машинного времени 0,8), а по нормативу — 1660 т/сут при k_m равном 0,25–0,37.

В связи с отмеченным, весьма важным является поиск технических решений по повышению k_m до технически обоснованного уровня.

Обобщенные данные о производительности очистных забоев в зависимости от длительности и вида простоев получены авторами статьи [7]. Они свидетельствуют о том, что при сокращении простоев по горно-геологическим причинам на 40 % уровень добычи угля в очистном забое увеличился на 18 %, а при увеличении длительности простоев на 40 % объем добытого угля сократился на 50 %. При сокращении простоев в процессе крепления и управления кровлей на 40 % производительность лав увеличивается на 18 %, а при увеличении на 40 % объем добычи сокращается на 48 %, т.е. результаты практически идентичны. Они свидетельствуют о том, что независимо от причин простоев их влияние на производительность очистных забоев одинаково. Все определяется длительностью простоев, т.е. речь идет о линейной взаимосвязи между

анализируемыми показателями, для установления вида которой нет необходимости использовать метод группового учета аргументов.

В добавление к отмеченному, следует обратить внимание на то, что авторы статьи [7] не приводят никаких рекомендаций о способах снижения длительности простоев, что снижает практическую ценность полученных математических моделей.

По результатам исследований [8] установлено, что на производительность очистного забоя существенное влияние оказывает его ритмичность работы. При этом утверждается, что вариация суточной, недельной, а тем более месячной добычи с амплитудой 100 % ведет к уменьшению годовой добычи на 40–60 %. При анализе причин таких колебаний добычи во времени авторы статьи обращают внимание на то, что наиболее значимой является следующая группа факторов: горно-геологические, надежность очистного оборудования, организационные и технологические, профессиональная некомпетентность, а также финансовое состояние и тренд рынка. Из всех этих групп факторов выделяются горно-геологические, в частности, наличие малоамплитудных трудно выявляемых на стадии геологоразведки геологических нарушений.

На примере 4-ой северной и 5-ой южной лав блока 3 показано, что при переходе мелкоамплитудных нарушений резко снижается объем добычи угля. Анализ представленного графика колебаний добычи показывает, что спад уровня, приведенного к средней величине, приходится на период перехода нарушения.

Проведя анализ динамики добычи угля в лаве, авторы [8] не анализировали влияние на величину неизбежных простоев очистного оборудования под воздействием отмеченных ими групп факторов, особенно связанных с надежностью горно-технического оборудования. Поэтому ничего не сказано о механизме формирования этих простоев и способах их предотвращения.

В работе [9], как и в предыдущей, обращено внимание на ритмичность работы лав и утверждается, что замедление темпов прироста объемов добычи связано с неосвоением возможной добычи из лавы. Превышение технически возможной добычи над фактической составляет несколько раз. Отсюда можно

сделать вывод о том, что показатели угледобычи ограничивают многие факторы, за исключением потенциальной возможности средств очистной выемки.

Автор статьи [9] приводит в качестве меры ритмичности коэффициент вариации добычи угля из лавы, но не акцентирует внимание на том, что его использование предполагает наличие нормального закона распределения изучаемых показателей, и если в работе [8] для обоснования сделанного вывода использовался факт отсутствия тренда в изменении добычи, то в анализируемой работе по этому поводу ничего не сказано. Более того, утверждение о том, что для оценки эффективности работы лавы необходимо сравнение фактической добычи с плановой, ставит под сомнение использование коэффициента вариации как меры ритмичности. Более верным, на наш взгляд, является учет отклонений факта от плана. Однако при этом, как справедливо отмечено в статье, нужно использовать более совершенные методики прогноза среднесуточной добычи и объяснять с их помощью детерминированную часть динамики данного показателя с поправкой на случайные отклонения от нее.

Автор статьи [9] также обратил внимание и на то, что при неритмичной суточной добыче по итогам месяца она может совпадать или быть близкой к плану, т.е. обеспечивается работа в относительно управляемом режиме. Такой результат вполне объясним возможностью компенсации потерь добычи на последующих этапах работы лавы. Однако этот очевидный факт автором не исследован, как и не приведены способы повышения ритмичности работы лав.

Определенный задел в этом направлении был сделан еще в 1977 г. в объединении «Гуковуголь», в котором его сотрудники предложили и реализовали идею построения технологических карт и картограмм организации работы очистных забоев по мере отработки выемочных столбов [10]. В основу этой идеи положено прогнозирование горно-геологических условий ведения очистных работ по всей длине выемочного участка с выделением наиболее неблагоприятных участков и разработка мероприятий, снижающих их отрицательное влияние на добычу.

Определяя риски невыполнения плана добычи угля, авторы статьи [11] сделали вывод о том, что практически можно компенсировать потери добычи от простоев за счет увеличения интенсивности выемки в соседнем временном периоде. Однако они считают, что в этом случае необходимо исключить загазирование лавы. В связи с этим, представляет научный и практический интерес изучение частоты и продолжительности загазирования лав. Именно исследованию этого вопроса посвящена работа [12]. В ней на основе исследований простоев лав на ш. «Южнодонбасская – 1» отмечено, что в период с 04.01.00 г. по 28.12.01 г. имело место 48 загазирования выемочных участков. Их распределение по длительности показало, что 28 загазирования имели длительность до 1 часа, что составляет 59 % и 19 загазирования от 1 до 6 часов, что составляет 41 %. Основной причиной загазирования автор статьи считает обрушение пород кровли в выработанное пространство. Однако не раскрывает механизм этой взаимосвязи. При этом основной способ разгазирования он предлагает за счет использования общешахтной депрессии, т.е. никаких локальных способов решения данной проблемы не предлагается.

За период проведения наблюдений за загазированием были рассчитаны потери добычи от простоев из-за загазирования. Они колебались в пределах от 35 до 169 т/сут, увеличиваясь не только с продолжительностью простоев, но и величиной добычи в стабильный (до простоев) период работы лавы, которая изменялась от 115 до 1244 т/сут.

Из отмеченного следует, что чем больше уровень добычи в лаве в стабильный (плановый) период ее работы, тем более отрицательные последствия простоев лав, независимо от их причины.

Причины низкой эффективности использования современных механизированных комплексов на высокогазоносных пластах Донбасса вскрываются при анализе газовых аварий [13–17]. Взрывоопасная концентрация метана является следствием высокого метановыделения, превышающего прогнозные значения, или уменьшения проектного расхода воздуха. Требование ограничения нагрузки на механизированный комплекс по газовому фактору

нарушается различными способами. В шахтной рабочей и отчетной документации достигнутые запредельные нагрузки по добыче нивелируются. В материалах расследований аварий установлены многочисленные случаи фальсификации информации о превышениях допустимой концентрации метана в горных выработках [18–20]. Массовость негативного проявления человеческого фактора в формировании аварийных загазований нельзя объяснить только влиянием материальных мотиваций [21]. Каждым руководителем в процессе накопления своего производственного опыта формируется представление о взаимосвязи добычи и метановыделения. Всякий факт, подтверждающий неточность прогноза при нарушении ограничений по нагрузке на механизированный комплекс, снижает обязательность выполнения этих ограничений. Поэтому разработка методики ежесуточного планирования угледобычи на основе текущего прогнозирования максимальной нагрузки по газовому фактору является актуальной научной задачей.

Недостаточный расход воздуха для разбавления метановыделения до допустимой концентрации часто является следствием задержки углубки вертикальных стволов и переоснащения шахт более мощными вентиляционными установками. По состоянию на 2005 г. из семи тысяч стационарного оборудования шахт Донбасса две трети полностью отработали свой нормативный срок службы [22].

Из приведенного анализа следует, что причинами низкого коэффициента машинного времени механизированных комплексов являются следующие факторы:

- газовый фактор, на высокогазоносных пластах является основным;
- отсутствие ежесуточного планирования угледобычи на основе текущего прогноза максимально допустимой нагрузки по газовому фактору;
- уменьшение расхода воздуха за счет высокого аэродинамического сопротивления вентиляционной сети выемочного участка.

1.2 Влияние параметров угледобычи на ограничивающее действие газового фактора

Как было отмечено выше, с увеличением продолжительности простоев из-за загазирования лав возрастают потери угледобычи. Особенно остро эта проблема стоит для высокопроизводительных забоев со средней нагрузкой до 5000 т/сут (Донбасс) и до 30000 т/сут (Кузбасс). В первом случае простои в течение 1 ч приводят к потере почти 280 т, а во втором — 1700 т добычи.

В связи с отмеченной проблемой в последние годы заметно активизировались исследования, направленные на установление взаимосвязи между среднесуточной добычей и абсолютной метанообильностью очистной выработки $\bar{I}_{оч}$.

Наиболее известной зависимостью между указанными величинами является зависимость, приведенная в нормативном документе [1]

$$\bar{I}_{оч} = \frac{A_{оч} \cdot q_{оч}}{1440}, \quad (1.3)$$

где $q_{оч}$ — относительное метановыделение из очистной выработки, м³/т;

$A_{оч}$ — среднесуточная добыча из очистной выработки (выемочного участка):

$$A_{оч} = \ell_{оч} \cdot v_{оч} \cdot m \cdot \gamma \cdot k_u, \quad (1.4)$$

где $\ell_{оч}$ — длина лавы, м;

$v_{оч}$ — скорость подвигания очистного забоя, м/сут;

m — мощность пласта, м;

γ — плотность угля, т/м³;

k_u — коэффициент извлечения угля.

Сравнивая два выражения (1.3) и (1.4), убеждаемся, что с увеличением $A_{оч}$ или связанной с ней $v_{оч}$, абсолютное метановыделение растет по нелинейной форме связи. Однако при этом следует обратить внимание и на то, что при

расчетах относительного метановыделения из очистного забоя $q_{оч}$, учитывается показатель n , который тоже зависит от скорости подвигания очистного забоя.

Преобразовав выражение для расчета n относительно $v_{оч}$ при прочих равных условиях: глубина H , выход летучих V^{daf} и подставив полученное выражение в формулу [1, (3.35)], получим в результате зависимость относительного метановыделения из обнаженной поверхности очистного забоя $q_{о.п}$ от $v_{оч}$

$$q_{о.п} = 18,24 \cdot e^{-0,48 \cdot v_{оч}}. \quad (1.5)$$

График этой зависимости представлен на рисунке 1.1.

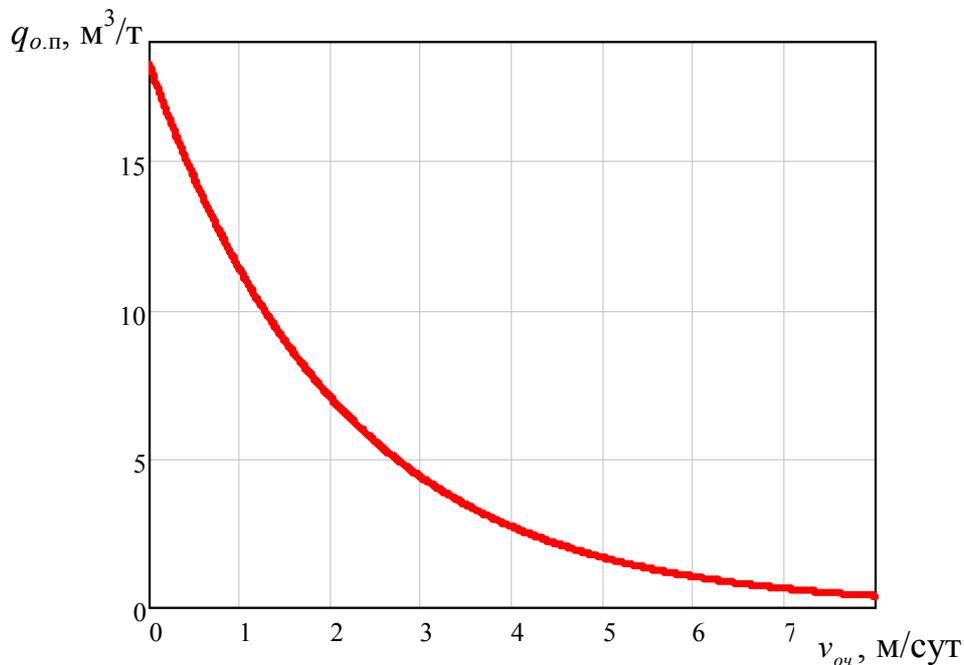


Рисунок 1.1 — Зависимость относительного метановыделения из обнаженной поверхности очистного забоя от скорости его подвигания

Аналогичные преобразования были выполнены и для расчета метановыделения из отбитого угля $q_{о.у}$ и выработанного пространства $q_{в.п}$. В итоге были получены зависимости (1.6) и (1.7):

$$q_{о.у} = 0,86 \cdot (1 - 0,85e^{-0,48 \cdot v_{оч}}), \quad (1.6)$$

$$q_{в.п.} = 17,72 \cdot v_{оч}^{-0,4}. \quad (1.7)$$

Графики полученных зависимостей приведены на рисунках 1.2 и 1.3.

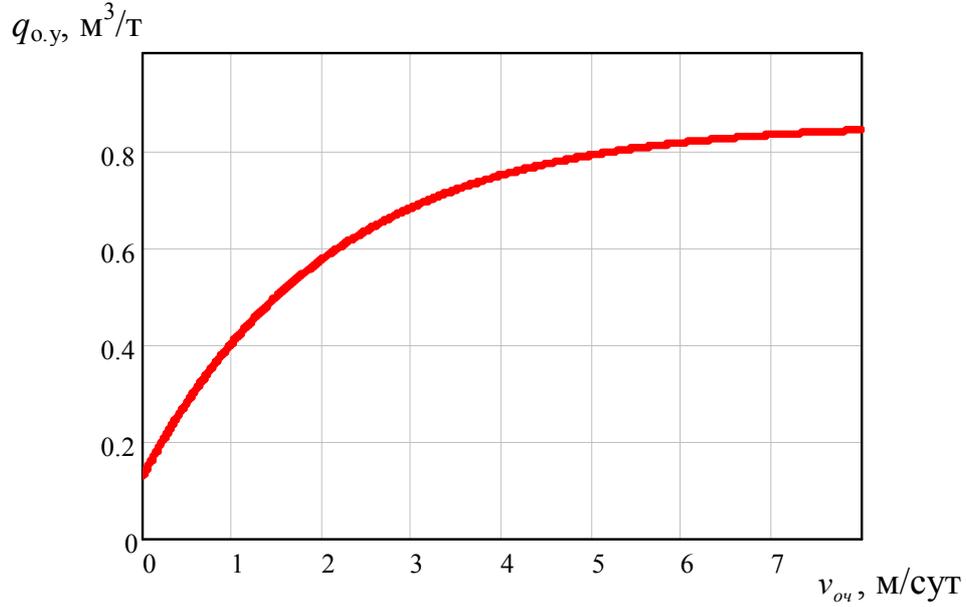


Рисунок 1.2 — Зависимость относительного метановыделения из отбитого угля от скорости подвигания

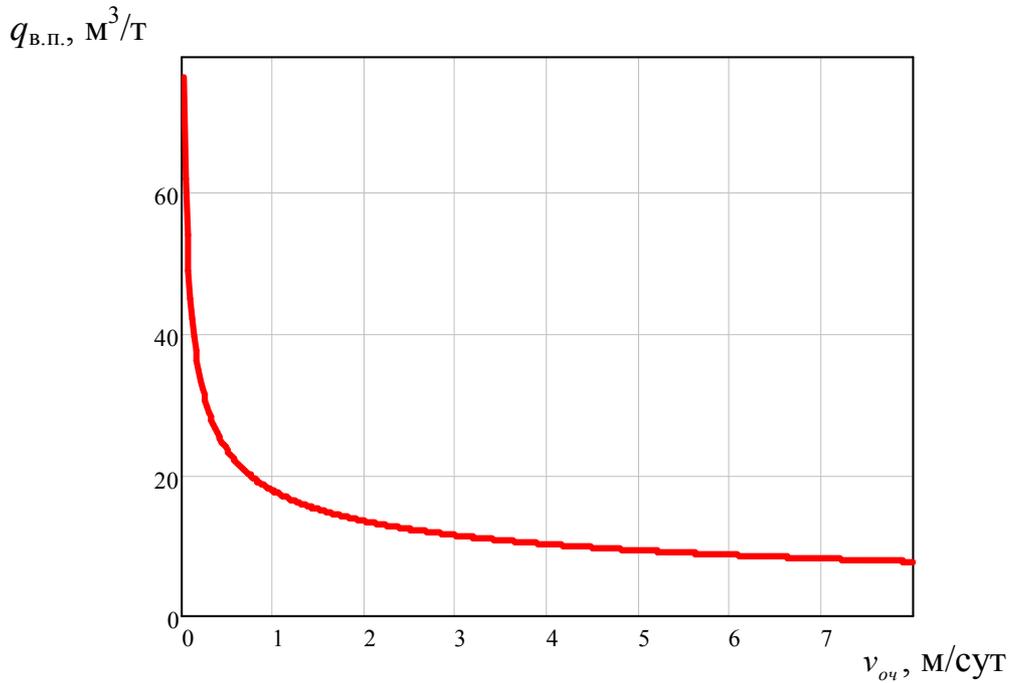


Рисунок 1.3 — Зависимость относительного метановыделения из выработанного пространства от скорости подвигания

В соответствии с полученными зависимостями был определен вклад различных источников в итоговую относительную метанообильность очистного забоя, представленный в таблице 1.1

Таблица 1.1 — Вклад источников в метанообильность очистного забоя

$v_{оч}$, м/сут	$q_{оп}$, %	$q_{о.у}$, %	$q_{в.п}$, %
0,6	38,3	0,9	60,8
1,8	34,7	2,5	62,8
2,4	30,7	3,3	66,0
3,6	22,5	5,0	72,6
4,2	18,7	5,7	75,6

Анализ графиков (рисунки 1.1–1.3) показал, что, начиная с величины 4–5 м/сут, относительная метанообильность достигает некоторого предела и дальше уже практически не изменяется. Этот вывод объясняет использование «Руководства...» [1] при скоростях подвигания лав не более 6 м/сут.

Кроме того, наблюдается противоречие во влиянии скорости подвигания $v_{оч}$ на абсолютное метановыделение $\bar{I}_{оч}$. Величина $q_{оч}$ с ростом $v_{оч}$ уменьшается по двум основным источникам — обнаженной поверхности $q_{оп}$ и выработанному пространству $q_{в.п}$, что способствует снижению $\bar{I}_{оч}$. С другой стороны, с ростом $v_{оч}$ растет объем среднесуточной добычи $A_{оч}$, и величина $\bar{I}_{оч}$, рассчитанная по (1.3) уже растет.

Если рассчитать значение $q_{оч}$ для различных скоростей подвигания лав и определить $\bar{I}_{оч}$, то получим график, представленный на рисунке 1.4. Его вид подтверждает сложный характер влияния $v_{оч}$ на $\bar{I}_{оч}$.

В связи с отмеченным выше неоднозначным характером влияния на абсолютное метановыделение в очистном забое скорости его подвигания и непосредственно связанной с ней среднесуточной добычей из лавы, были проанализированы результаты исследований, посвященные этому вопросу [23–26].

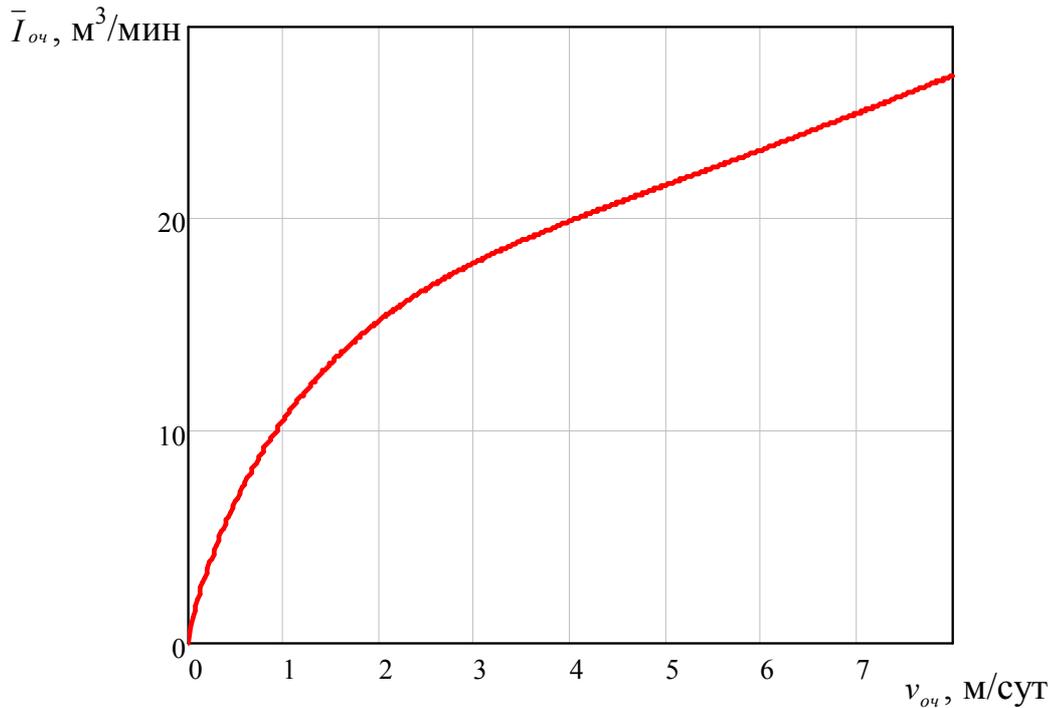


Рисунок 1.4 — Зависимость абсолютного метановыделения $\bar{I}_{оч}$ от скорости подвигания $v_{оч}$

В работе [23] на основе расчетов по методике [1] для фактических условий ш. «Суходольская-Восточная» установлено следующее. При увеличении скорости подвигания очистного забоя в сутки $v_{сут}$ величина \bar{I} , увеличивается по криволинейной зависимости. При этом, чем больше природная метанообильность пласта x_r , тем выше по оси ординат кривая зависимости $\bar{I} = f(v_{сут})$.

С увеличением среднесуточной добычи из лавы $\bar{I}_{оч}$ возрастает по линейной зависимости, а прямые $\bar{I} = f(A_\phi)$ практически накладываются одна на другую при разных x_r . Такие результаты, на первый взгляд, являются несогласованными, ведь между $A_{сут}$ и $v_{сут}$ существует линейная прямо пропорциональная связь. Но если обратить внимание на все приведенные графики изменения $q_{о.п}$, $q_{о.у}$ и $q_{в.п}$ от $v_{оч}$, то установленное в [23] различие в характере взаимосвязи \bar{I} от $v_{сут}$ и $A_{сут}$ можно объяснить различным влиянием $v_{оч}(A_{сут})$ на $q_{оч}$ и $\bar{I}_{оч}$.

Отдельного внимания заслуживает приведенный в работе [23] график изменения $I_{уч}$ от длины лавы $\ell_{оч}$. При его построении авторы анализируемой

работы не соблюли общеизвестные способы построения графиков, согласно которому результирующий показатель откладывается по оси ОУ, а влияющий — по оси ОХ. При этом обе шкалы, как правило, градуируются по возрастанию. В данном случае все выполнено с точностью наоборот. Значения длины лавы проградуированы на оси ОУ по возрастанию, а $I_{уч}$ по оси ОХ — по уменьшению. Это затрудняет анализ графика и может привести к ложным выводам. Анализируя этот график, авторы приходят к выводу, что увеличение длины лавы не позволяет значительно увеличить производительность угледобычи, а остаточная газоносность пласта не является главным влияющим фактором. После перестройки графика по стандартной процедуре оказалось, что с увеличением $l_{оч}$ уменьшается $I_{уч}$ с 7,582 м³/мин до 7,309 м³/мин, т.е. всего на 3,7 %.

Полученный результат не соответствует логике увеличения обнаженной площади пласта, из которой выделяется метан. Если изменение $I_{уч}$ от $l_{оч}$ действительно незначительно, то удельный вес метановыделения с обнаженной поверхности очистного забоя невелик. В статье [23] каких-либо выводов по этому поводу не сделано.

Авторы статьи [24] представили результаты исследований влияния среднесуточной добычи из лавы на суммарное относительное и абсолютное метановыделение. При этом при построении графиков изменения указанных показателей ими была получена зависимость метановыделения $I_{общ}$ от $A_{сум}$, которая описывается параболической кривой с точкой максимума при $A_{сум} = 1665$ т/сут. Отсюда можно сделать вывод о возможности увеличения добычи из лавы более 1600 т/сут, не опасаясь ограничений по газовому фактору.

Согласно разработанной физической модели [25], метан начинает поступать в очистную выработку после нарушения термодинамического равновесия в системе уголь-газ, связанного с разгрузкой от горного давления и отбойки угля в забое. На основе разработанной модели было исследовано влияние скорости подвигания лавы на концентрацию метана в ней. Расчеты были выполнены для условий 9 южной лавы пласта k_5 ш. «Краснолиманская» и 9 западной лавы пласта

l_1 ш. им. А.Ф. Засядько. Полученные результаты показали, что с увеличением $v_{\text{сут}}$ в обеих лавах растет концентрация метана. При этом для ш. им. А.Ф. Засядько допустимая концентрация метана в 1% достигается при $v_{\text{сут}} = 3,5$ м/сут, а для ш. «Краснолиманская» — 2,5 м/сут.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что с ростом $v_{\text{оч}}$ увеличивается вероятность загазирования лав, поэтому скорость их подвигания должна ограничиваться по газовому фактору. Эти ограничения становятся еще жестче с увеличением коэффициента диффузии угля и составляют для ш. им. А. Ф. Засядько 2,5 м/сут, а для ш. «Краснолиманская» — 1,5 м/сут.

Отдельный интерес представляет методика расчета максимальной скорости подачи комбайна по газовому фактору [26]:

$$V_{\text{max}} = \frac{A_{\text{max}}}{m_g r \gamma T_k}, \quad (1.8)$$

где A_{max} — максимально допустимая нагрузка на лаву по газовому фактору, т/сут [1];

m_g — вынимаемая мощность пласта, м;

r — ширина захвата исполнительного органа комбайна, м;

T_k — полезное время работы комбайна в сутки по добыче угля, мин/сут.

Полученная формула (1.8) позволяет принимать решения по регулированию фактической скорости подачи комбайна с точки зрения контроля концентрации метана.

Ее также можно использовать для определения $v_{\text{оч}}$, позволяющей компенсировать потери добычи от простоев лав из-за загазирования при соблюдении безопасности по газовому фактору.

Учитывая особую важность данной формулы с точки зрения производительности комбайна и, как следствие, лавы, а также безопасности работ, необходимо обратить внимание на то, что T_k по существу представляет собой машинное время работы комбайна. Оно зависит от многих факторов и в первую

очередь от длины лавы и скорости подачи комбайна. Поэтому взаимосвязь между V_{\max} и A_{\max} более сложная.

Внедрение в практику очистных работ современных высокопроизводительных и весьма дорогих механизированных комплексов еще больше обострило проблему ограничения добычи угля по газовому фактору и привело к активизации исследований метановыделений в лаве при высокой интенсивности их работы [27–36].

Часть исследований показали, что с увеличением добычи или скорости подвигания лавы в сутки относительная и абсолютная величина метановыделения в очистные забои растет, т.е. сохраняется общая направленность взаимосвязи этих показателей согласно нормативному документу [1].

Такая точка зрения на закономерности формирования метанообильности при больших нагрузках и скоростях подвигания лав поддерживается авторами работ [27–29, 31, 36]. Противоположного мнения придерживаются авторы работ [33, 32–35]. В связи с расхождением по поводу влияния на метанообильность из лав их высокой производительности возникла необходимость более детального анализа изучаемого процесса.

Исследования, проведенные на ш. «Красноармейская-Западная №1» в южной и северной частях отрабатываемых пластов [36], показали, что с увеличением среднесуточной добычи из лавы почти функционально растет общая метанообильность участков. Что же касается метановыделения из пласта $I_{пл}$, то для северного крыла наблюдается привычная зависимость (чем больше нагрузка, тем больше метановыделение), а для южного крыла кривая зависимости аппроксимируется полиномом четвертой степени и имеет два локальных экстремума. Один связан с минимальным значением \bar{I} при $A_{сут}$, изменяющемся от 850 т/сут до 1550 т/сут. Далее наблюдается рост \bar{I} до уровня добычи 2950 т/сут, после чего метановыделение из пласта уменьшается при $A_{сут}$ равном 3650 т/сут. Общий диапазон изменения $A_{сут}$ составил 850 – 3650 т/сут.

Такое расхождение в характере зависимости \bar{I} от $A_{сут}$ авторы объясняют влиянием других факторов. Однако следует обратить внимание на то, что такие расхождения могут быть связаны с малой выборкой величин \bar{I} и $A_{сут}$ (всего 5 точек, полученных путем усреднения экспериментальных данных). Данный вывод подтверждается тем, что после объединения данных по двум выборкам в одну исчезает минимум \bar{I} в диапазоне $A_{сут}$ 850–1550 т/сут, но сохраняется в несколько сглаженном виде в интервале 225–2950 т/сут. Снижение $I_{пл}$ после уровня $A_{сут}$ равном 3000 т/сут составляет 20 %. Кроме этого, следует отметить, что зависимость $I_{пл}$ от $A_{сут}$ больше соответствует гиперболической, а не параболической. Поэтому можно сделать вывод лишь о том, что, начиная с $A_{сут} = 2250$ т/сут, наблюдается стабилизация $I_{пл}$, а не снижение, как утверждают авторы [36].

Результаты исследований [28] изменения метановыделения I от месячной добычи угля A_m показали, что с увеличением A_m растет и I по экспоненциальной зависимости. Величина A_m изменялась от 2340 до 71700 т/мес. Из графика взаимосвязи следует, что, начиная с добычи 30000 т/мес., рост I стабилизируется, как и в предыдущем случае. Этот результат позволяет сделать вывод о том, что, начиная с этого значения A_m , можно увеличивать добычу, не опасаясь загазирования лавы, но на практике наблюдаются весьма сильные колебания I при разной суточной добыче $A_{сут}$. Поэтому более приемлемым является установление взаимосвязи между I и $A_{сут}$.

На ш. «Котинская» (Кузбасс) в лавах №5203 и №5207 были проведены экспериментальные исследования влияния на интенсивность метановыделения в очистной забой и на выемочном участке ($I_{оз}$, $I_{уч}$) среднесуточной добычи $A_{сут}$, которая изменялась от 10000 до 26000 т/сут [31]. Эти исследования являются ценными с той точки зрения, что отражают влияние на $I_{оз}$ и $I_{уч}$ действительно высокопроизводительных лав.

По фактическим данным получены линейные зависимости, показывающие, что с ростом A_{cym} существенно увеличивается интенсивность метановыделения как в лаве № 5203, так и в лаве № 5207. Эта взаимосвязь описана эмпирическими формулами:

$$I = 2,59 \cdot 10^{-4} A_{cym} + 3 \text{ (лава №5203)}, \quad (1.9)$$

$$I = 1,92 \cdot 10^{-4} A_{cym} + 3,5 \text{ (лава №5207)}. \quad (1.10)$$

Сравнение этих формул показывает, что в лаве №5203 зависимость между изучаемыми показателями более чувствительна к изменению A_{cym} , чем в лаве № 5207, и в обоих случаях не наблюдаются какие-либо локальные экстремумы.

В статье [29] представлен результат сравнения прогнозных и фактических значений абсолютной метанообильности на выемочном участке и из разрабатываемого пласта в зависимости от среднесуточной добычи из лав № 5203, № 5204 ш. «Котинская», № 34-4-1 ш. «Тагарышская», №6704 ш. «Талдинская-Западная-1».

Прогнозные значения I определялись по формулам нормативного документа [1]. Среднесуточная добыча изменялась по лаве № 5204 с 2000 до 25000 т/сут, по лаве № 5203 с 1000 до 38000 т/сут, по лаве № 6704 с 4000 до 12500 т/сут, по лаве № 34-4-1 с 500 до 5500 т/сут.

По результатам сравнения было установлено, что прогнозное значение I , полученное по данным о природной газоносности пласта, в 2–5 раз больше, чем фактическое. При этом во всех случаях с увеличением A_{cym} абсолютная метанообильность очистного забоя увеличивается.

Авторы статьи [29] не привели регрессионный анализ изменения фактических I и A , поэтому не было возможности оценить тренды взаимного изменения этих величин. В то же время анализ корреляционных полей показал, что для лавы № 5203 наблюдается слабый рост I с ростом A до его значения 25000 т/сут, после чего наблюдается спад величины I с ростом A до 38000 т/сут.

Для лавы № 5204 наблюдается слабый тренд увеличения I с ростом A , а в лавках №34-4-1 и № 6704 каких-либо заметных трендов не замечено.

По данным [27] при большой интенсивности выемки угля растет газоотдача с обнаженной поверхности угля в зоне работы комбайна, а, следовательно, и из отбитого им угля. Одновременно снижается метановыделение из углепородного массива, вмещающего так называемые спутники. Отсюда можно сделать вывод, что с ростом добычи угля метанообильность лав будет увеличиваться.

Уменьшение абсолютного или относительного метановыделения в очистные забои и участки с ростом добычи и скорости подвигания лав объясняется, прежде всего, изменением в геомеханических процессах, протекающих в подрабатываемом углепородном массиве. Исходя из установленных закономерностей, делается вывод о низкой достоверности методик расчета газового баланса и допустимой нагрузки на лаву при высокоинтенсивной отработке угольных пластов [30]. Данный вывод убедительно подтверждается при сравнении расчетных и фактических значений I (методика [1]) на шахтах «Котинская», «Тагарышская» и «Талдинская-Западная-1» [29]. Фактические значения I оказались гораздо меньше расчетных, полученных по формулам нормативного документа [1].

В работе [32] была проведена специальная проверка влияния нагрузки на дебит метана в очистные выработки, оборудованные современными механизированными комплексами. Исследованием было охвачено 33 лавы на 6-ти шахтах Донбасса. Диапазон нагрузок на очистные забои составлял от 300 до 3980 т/сут, скорость подвигания — от 0,5 до 6,9 м/сут. Было установлено, что зависимость относительного отклонения фактического метановыделения от расчетного зависит от нагрузки на очистной забой:

$$\frac{I_{\phi}}{I_p} = 61,4 A^{-0,637}, \quad (1.11)$$

где I_{ϕ} – фактическое метановыделение, м³/мин;

I_p – расчетное метановыделение, м³/мин;

A – нагрузка на очистной забой, т/сут.

Как следует из этого уравнения, фактическое метановыделение с увеличением нагрузки снижается относительно расчетного и при $A = 4000$ т/сут составляет около 30 % от расчетного значения. При этом в [32] не исследован вопрос: допустимо ли при высоких нагрузках снижение количества воздуха для проветривания очистного забоя, так как необходимое количество воздуха определяется из условия разбавления не среднего метановыделения, а максимального, которое определяется с учетом среднего метановыделения и коэффициента неравномерности. В анализируемой работе нет данных об изменении коэффициента неравномерности метановыделения k_n . При уменьшении среднего метановыделения коэффициент неравномерности должен увеличиваться, согласно нормативной методике [1], и, следовательно, может расти максимальное метановыделение и соответственно необходимое количество воздуха.

Исследуя влияние на I увеличения объемов добычи угля в лаве, авторы [33] приходят к выводу, что с ростом A увеличивается дебит метана из пластов-спутников и газоносных пород, а абсолютный дебит метана в очистные выработки практически не изменяется. При этом относительный дебит уменьшается с 13,5 до 1,7 м³/т. Как и в предыдущем случае утверждается, что расчетное относительное метановыделение в 1,15–2,1 больше фактического при изменении добычи с 500 до 4000 т/сут. Отсюда делается вывод о несовершенстве нормативной методики прогноза I и q .

Помимо этого, обращено внимание на то, что с увеличением скорости подвигания лавы уменьшается зона опорного давления и смещения пород, что ведет к снижению трещинообразования в кровле и интенсивности отжима угля и, как следствие, к уменьшению метановыделения из разрабатываемого пласта. Существенное увеличение темпов подвигания лавы ведет также к увеличению шага первичной и вторичных посадок кровли. В последнем случае может происходить накопление потенциальной энергии упругих деформаций во

вмещающих породах с последующим ее высвобождением в процессе обрушения пород.

Отсюда возникает необходимость в прогнозе шагов обрушения пород и их взаимосвязи с метановыделением в лаве. Кроме этого, предлагается определять ожидаемый дебит метана в проектируемых лавах на основе фактических данных при очистных работах в сравнимых условиях, но не приводится методика оценок этой сравнимости.

Ссылаясь на практический опыт выемки угля, автор статьи [34] высказал предположение, что с изменением производительности лавы с нулевой до некой критической происходит увеличение выделения метана q в призабойное пространство очистной выработки. При превышении производительности критической величины происходит снижение газовыделения в лаву.

Данная закономерность объясняется тем, что с ростом скорости подвигания лавы имеет место замедление высвобождения метана впереди очистного забоя вследствие сокращения времени пребывания пород в области изменяющегося напряженно-деформированного состояния. Дополнительным фактором, влияющим на уменьшение выделения газа в призабойном пространстве, является также уменьшение плотности трещин в углепородном массиве. Влияние указанных факторов ведет к тому, что выделение метана происходит преимущественно в выработанном пространстве.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы были проведены наблюдения за метановыделением на ш. им. А.Ф. Засядько при изменении нагрузки на лаву с 500 до 3800 т/сут. В результате было установлено, что в интервале 500–2500 т/сут наблюдается увеличение выделения метана с 4–8 до 11–20 м³/мин, а при дальнейшем росте $A_{сут}$ происходит уменьшение до значений 5–15 м³/мин.

При сравнении указанных значений $A_{сут}$ и I с представленным в статье графиком выявлены существенные несоответствия. Так, общий диапазон изменения $A_{сут}$ по графику составляет 2000–4000 т/сут. Рост I с увеличением $A_{сут}$ происходит до его значения 3000 т/сут с соответствующим изменением I с

8 м³/мин до 25 м³/мин, а уменьшение I до 13 м³/мин начинается при добыче свыше 3000 т/сут. Такие расхождения ничем не объясняются.

Для независимого подтверждения выдвинутой гипотезы приведены данные обработки фактических значений I и $A_{сут}$ по лаве № 5203 ш. «Котинская» (Кузбасс). Величина метанообильности изменялась от 2 до 12 м³/мин, а добыча с 5000 до 32500 т/сут. Максимуму I в данной лаве соответствовала добыча 20000 т/сут, а в предыдущем случае 3000 т/сут. Кроме того, по данным лавы №5203 увеличение I происходило до $A_{сут}$, равному 26000 т/сут, и лишь одно фактическое значение I после этого порога показало уменьшение I до 3 м³/мин.

Представленное в [34] изменение фактических значений I с фактическими $A_{сут}$ по лаве №5203 не в полной мере соответствуют данным [29]. Так, интервал изменения $A_{сут}$ составляет уже 2000–38000 т/сут. Кроме того, не обращено внимание и на то, что по фактическим данным лавы №5204 ш. «Котинская» изменение I от $A_{сут}$ скорее всего описывается гиперболической кривой, а не параболой. Кроме того, не обращено внимание на то, что по фактическим данным лав № 6704 ш. «Талдинская-Западная-1» и № 34-4-1 ш. «Тагарышская» изменение $A_{сут}$ в пределах 4200–12500 т/сут и 500–5500 т/сут не влияет на изменение I , а в статье [31] взаимосвязь между I и $A_{сут}$ для той же лавы № 5203 описывается почти функциональной линейной зависимостью.

Таким образом, выполненный анализ [29, 34] показал, что выдвинутая в статье [34] гипотеза о параболическом изменении I с ростом $A_{сут}$ не нашла своего убедительного подтверждения. Можно считать лишь доказанным, что использование расчетного значения I существенно ограничивает рост добычи из лав, оснащенных высокопроизводительным оборудованием.

Более сложный характер изменения дебита метана с ростом скорости подвигания лавы отмечается в статье [35]. Ее авторы на основе экспериментальных данных пришли к выводу, что с увеличением $v_{сут}$ в пределах выемочного участка повышается общий дебит метана в горные выработки и дегазационные скважины. В то время как абсолютный дебит метана в очистную

выработку уменьшается. При этом доля этого источника метана в газовом балансе выемочного участка также снижается. Полученные результаты исследований свидетельствуют о необходимости повышения эффективности дегазации углепородной толщи, прежде всего при высокопроизводительной работе лав. При этом причины уменьшения метановыделения в очистную выработку детально в статье [35] не рассматривались.

Подводя итог выполненному анализу, следует обратить внимание на то, что в данный момент отсутствует единое мнение о характере взаимосвязи между производительностью очистных забоев и метановыделением в них.

Параболическая зависимость между I и A_{cym} не нашла своего убедительного подтверждения по фактическим данным, а причины уменьшения метановыделения в лаву при высокопроизводительной их работе объясняются изменениями напряженно-деформированного состояния углевмещающих пород, но трактовка этих причин разная.

Наиболее важной количественной характеристикой технологической схемы является длина лавы, так как она оказывает определяющее влияние на производительность механизированного комплекса и на большинство перечисленных качественных характеристик [37]. С увеличением длины лавы возрастает сменный коэффициент машинного времени за счет сокращения количества концевых операций. Вместе с тем увеличение длины лавы приводит обратному эффекту, к увеличению ее аэродинамического сопротивления, следовательно, к снижению расхода воздуха.

Схема проветривания выемочного участка выполняет функцию управления метанообильностью очистного забоя путем разделения источников метановыделения [1]. Наиболее эффективными схемами по этой функции являются прямоточные схемы с направлением исходящей струи на выработанное пространство. Однако эти схемы приводят к снижению расхода воздуха в лаве, т.к. возникают большие утечки воздуха из призабойного пространства. Поэтому в результате применения прямоточных схем проветривания, концентрация метана

на исходящей струе из лавы уменьшается незначительно по сравнению с возвратноточными.

В Донбассе широко используются возвратноточные схемы проветривания [38]. Анализ опыта применения различных схем проветривания при отработке высокогазоносных пластов приведен в работе [39]. Отмечено, что при применении схем типа 2В на сопряжении лавы со штреками возникают опасные местные скопления и поэтому рекомендуется переход на схемы 1-К-Н-в-вт или 1-М-н-в-вт. Для решения проблемы снижения вклада метановыделения из выработанного пространства при возвратноточной схеме предложены варианты газоотводящих систем: с помощью отростков газопровода, вакуум-насосами на фланговую выработку, за счет общешахтной депрессии по неконтролируемой части вентиляционной выработки [40, 41].

Таким образом, для снижения потерь машинного времени от срабатывания аппаратуры автоматического газового контроля необходимо обоснование максимально допустимой нагрузки механизированного комплекса, длины лавы, параметров технологической схемы отработки выемочного участка, обеспечивающей минимизацию метанообильности очистного забоя и утечек воздуха из призабойного пространства.

1.3 Методы исследования влияния угледобычи на газообильность горных выработок

До настоящего времени основной методикой прогноза метановыделения в очистные выработки является методика, приведенная в нормативном документе [1]. С ее помощью определяется ожидаемое значение I по природной метаноносности пласта и пород и по фактическим данным, а также устанавливается максимально допустимое значение среднесуточной нагрузки на лаву по газовому фактору.

Приведенные выше материалы [29, 32] свидетельствуют о том, что расчетные значения I существенно превышают фактические. И их расхождение увеличивается с ростом фактической добычи из высокопроизводительных лав.

Кроме того, было установлено, что при переходе от прогнозных значений I , определенных по данным о природной газоносности разрабатываемого пласта к прогнозным величинам, рассчитанным по фактическому газовыделению в лавах-аналогах, расхождение между прогнозом и фактом значительно снижается. Отсюда следует, что при совершенствовании методов прогноза I нужно ориентироваться на использование фактических данных лав-аналогов или же действующей лавы за предыдущий период. Более точное прогнозирование метановыделения по фактическим данным обусловлено усреднением данных в сравнительно больших временных интервалах (1-2 и более месяца [1]). Согласно теории случайных процессов, с помощью усреднения обнаруживаются тренды процессов, использование которых и позволяет увеличить точность прогноза. Прогноз по усредненным данным необходим для проектирования технологии угледобычи. Планирование угледобычи во время отработки выемочного столба можно реализовать при более детальном прогнозе, на основе циклических компонент изучаемых процессов.

В большинстве случаев в горном деле модернизация известных методов расчетов каких-либо параметров связана с учетом дополнительных факторов или уточнением форм их взаимосвязи с рассчитываемыми величинами. В этой связи особый интерес представляет анализ методов уточнения прогнозных показателей, учитывающих периодический характер процесса метановыделения [42–48].

В работах [42–45] в качестве одного из направлений совершенствования методов прогноза I предлагается учитывать циклический характер выделения метана в очистные выработки, что объясняется периодическими осадками непосредственной и основной кровли. Во время первичной осадки основной кровли абсолютное метановыделение является максимальным, а далее колеблется с шагом, синхронным шагу обрушения пород основной кровли. Аналогичный результат, но без первичного максимального скачка I , приведен и в работе [46].

Основываясь на полученных по фактическим данным результатах, автор статьи [42] предлагает учитывать приращение метановыделения при осадках основной и непосредственной кровли. При этом основным источником выделения метана приняты пласты-спутники, а при расчете $I_{пл}$ (метановыделение из пласта) учитываются основные положения методики [1], которая, как известно, дает завышенные значения метановыделения и занижает величину $A_{сум}$.

Таким образом, не отрицая общую логику постановки и решения задачи учета метановыделения во время осадок основной и непосредственной кровель, следует отметить, что полученный результат не соответствует условиям работы высокопроизводительных лав.

При исследовании временных рядов изменения выделения метана на выемочных участках 22-й и 23-й лав ш. «Суходольская-Восточная» [45], 2-ой, 8-ой 9-ой западных лав ш. «Известия» [47, 48] было установлено, что они имеют явно выраженный динамический нестационарный характер. Наблюдаются ярко выраженные тренды и изменение стандартного отклонения по длине ряда.

Для описания таких рядов изменения I по мере подвигания лав был использован метод сингулярного спектрального анализа (SSA) [49], позволяющий разлагать исходный ряд на компоненты с последующим описанием их в отдельности и установления причин колебаний I в исходном вариационном ряду. В результате была построена математическая модель, удовлетворительно описывающая фактическое изменение I по длине выемочного столба [47]. В то же время распространение этой модели на другие лавы вызвало трудности, связанные с поиском и обоснованием лав-аналогов и сложностью предсказания колебаний скорости подвигания проектируемой лавы. Поэтому использование полученной модели на практике оказалось проблематичным.

В работах МакНИИ [50, 51] К. К. Бусыгиным и Ю. А. Ивановым выполнено разложение колебаний концентрации метана методами спектрального анализа на низкочастотные и высокочастотные составляющие. Анализ аддитивной структуры полученных компонент позволил разработать алгоритм разделения

ложных, кратковременных и поэтому неопасных всплесков от длительных опасных концентраций метана.

Авторами работ [52, 53] для описания аэрогазодинамики добычного участка предлагается использовать модель смешанной авторегрессии скользящего среднего с подстраиваемыми коэффициентами по данным автоматической системы контроля концентрации метана и расхода воздуха. В общем случае модель имеет вид

$$c_k((n+1)\Delta t) = \sum_{i=1}^p \alpha_{k_i} \varphi_{k_i} [c_k(n\Delta t), c_k((n-1)\Delta t), \dots, c_k((n-m_1)\Delta t), q_k(n\Delta t), q_k((n-1)\Delta t), \dots, q_k((n-m_2)\Delta t)], \quad (1.12)$$

где $c_k(l\Delta t)$ — концентрация метана в исходящей струе в момент времени $l\Delta t$;

$q_k(l\Delta t)$ — расход воздуха на проветривание лавы в момент времени $l\Delta t$;

$\varphi_{k_i}(\cdot)$ — полиномиальная функция;

α_{k_i} — коэффициенты модели, которые уточняются в процессе функционирования системы по данным предыдущего периода.

Модель предлагается использовать для прогноза концентрации метана и количества подаваемого воздуха на ближайшие 3 мин. Анализ результатов опытной эксплуатации изложенного метода в системе автоматического управления [54] показал, что перераспределение воздушных потоков шахты в режиме 3-х минут трудно реализуемо.

В процессе расчетов допустимой по газовому фактору добычи учитывается количество подаваемого в лаву воздуха [1], часть из которого дренирует в выработанное пространство через зазоры между секциями крепи в процессе задвижки на новую машинную дорогу. Вследствие этого предлагается учитывать при расчетах концентрации метана на исходящей из лавы струе воздуха его утечки по длине очистного забоя [55]. При таком подходе появляется возможность определить длину лавы и добычу из нее с учетом безопасной концентрации метана.

Выполненные аналитические расчеты показали, что концентрация метана по длине лавы растет нелинейно из-за утечек воздуха в выработанное пространство. При расчете A_{cym} учитывается скорость поступления метана из всех источников, но не указывается, по какой методике она определяется. Если по [1], то предлагаемая авторами [55] методика расчета A_{cym} будет отражать все недостатки [1].

Вызывает возражение игнорирование в процессе расчетов допустимой концентрации метана, его поступление из выработанного пространства. Кроме этого, следует учесть, что утечки воздуха формируются не только по длине лавы, а и в местах сопряжений лавы с примыкающими выработками, на участках неподдерживаемых вентиляционных выработок при подсвежении исходящей струи воздуха. Если же учесть результаты [56], согласно которым газовыделение с поверхности обнажения пласта изменяется по параболическому закону, а из отбитого угля по экспоненциальному убывающему или возрастающему в зависимости от направления движения комбайна, то математические модели, определяющие концентрацию метана по длине лавы, станут намного сложнее, а результаты расчетов — существенно иными.

Автор работы [57] предлагает при расчете метанообильности учитывать параметры сдвижения массива в виде «условных» блоков. Предлагаются формулы, учитывающие трудноопределимые в реальных условиях геомеханические параметры: предельные относительные деформации сжатия и растяжения, коэффициент влияния локальных структур на газообильность, коэффициент влияния трещиноватости, коэффициент влияния палеопотока, изгиб пликативных нарушений. Кроме того, в предлагаемой методике необходимо рассчитать плотность газа в углеродном массиве. Несмотря на заявленную высокую прогностическую точность предлагаемой модели (коэффициент корреляции составляет $r=0,84$, отклонение расчетных и фактических значений 14%), трудность определения учтенных показателей вызывает сложности в применении данной методики в шахтных условиях. Кроме того, в анализируемой работе учтено влияние на метанообильность лавы среднего значения скорости

подвигания очистного забоя, которое, как указывает автор, не постоянно и меняется с течением времени. Поэтому учет только среднего значения данного показателя не корректен.

Рассмотренная в [58] методика определения предельно допустимой добычи из лавы основана на сравнении двух значений метановыделения: одно предусматривает расчет средней метанообильности по природной метаноносности $\bar{I}_{оч}$ по формулам (1.3) и (1.4), а второе рассчитывается по допустимой концентрации метана на исходящей из лавы струе воздуха $\bar{I}_{оч.доп}$:

$$\bar{I}_{оч.доп} = \frac{0,6 S_{оч.мин} v_{max} k_{о.з} C}{k_n}, \quad (1.13)$$

где $S_{оч.мин}$ — площадь поперечного сечения призабойного пространства в свету, м²;

v_{max} — максимально допустимая скорость движения воздуха в лаве, м/с;

$k_{о.з}$ — коэффициент, учитывающий часть воздуха, который движется по части выработанного пространства, непосредственно примыкающего к призабойному пространству;

C — предельно допустимая концентрация метана в исходящей струе воздуха, %;

k_n — коэффициент неравномерности выделения метана.

Определив значения $\bar{I}_{оч}$ и $\bar{I}_{оч.доп}$, оценивают возможную предельно допустимую добычу из лавы. Если $\bar{I}_{оч.доп} = \bar{I}_{оч}$, то плановая нагрузка на очистной забой удовлетворяет требуемым нормам ПБ [59] и может быть принята. В противном случае требуется корректировка добычи и повторный расчет до тех пор, пока не будет выполнено условие $\bar{I}_{оч.доп} \geq \bar{I}_{оч}$.

В работе [60] представлен график изменения $I_{уч}$ от месячной скорости подвигания очистного забоя. Он имеет пилообразную форму и отражает снижение абсолютного метановыделения в очистном забое во время остановок угольного комбайна. При этом указано на то, что даже длительная на 4–6 часов и более остановка забоя не снижает метанообильности. Отсюда следует, что процесс загазирования и разгазирования может длиться несколько часов и для

компенсации потерь добычи потребуется существенное увеличение скорости подачи комбайна или увеличение машинного времени его работы. Конкретное решение может быть принято лишь при более надежных методах расчета I и мониторинге концентрации метана при увеличении скорости подачи комбайна.

Требование нормативного документа [1] по определению максимально допустимой нагрузки на механизированный комплекс по газовому фактору имеет весьма ограниченное применение. Предлагаемая в [1] расчетная формула применима для весьма редкой ситуации, когда в очистной забой подается максимальное количество воздуха, ограниченное предельно допустимой скоростью воздуха [59]. На действующих шахтах Донбасса часто возникают ситуации, когда по техническим причинам невозможно обеспечить выемочный участок достаточным количеством воздуха. Чаще всего в паспортах на отработку выемочного участка закладываются расходы воздуха меньше максимально допустимого по [59], но в процессе работы количество воздуха изменяется. Поэтому каждое новое значение расхода воздуха обеспечивает разбавление до допустимой концентрации определенное предельное метановыделение и соответственно задает допустимую среднюю производительность механизированного комплекса.

1.4 Цель и задачи исследований

Выполненный анализ современного состояния методов обоснования рациональных технологических параметров в условиях высокой метанообильности позволил установить следующее:

1. Простой высокопроизводительного и весьма дорогого очистного оборудования из-за влияния газового фактора ведут к существенным потерям объемов добычи и ухудшению технико-экономических показателей предприятия, в связи с чем стабилизация выполнения плановых показателей добычи за счет управления газовыделением с помощью технологических факторов является актуальной.

2. Отмечено, что взаимосвязь между среднесуточной добычей, зависящей от скорости подвигания лавы, и абсолютным метановыделением имеет противоречивый характер.

3. Нормативная методика прогноза метановыделения по остаточной метаноносности в лавах дает существенно завышенные результаты по сравнению с фактическим метановыделением, что приводит к необоснованному ограничению добычи, прежде всего, из высокопроизводительных лав.

4. В основу действующей нормативной методики определения проектных решений по отработке высокогазоносных угольных пластов положены взаимосвязи усредненных показателей угледобычи и метановыделения за период 1-2 и более месяцев. Влияние суточных колебаний угледобычи на процесс метановыделения не изучено, что снижает надежность прогноза максимально допустимой нагрузки по газовому фактору.

5. Среди технологических факторов, влияющих на метановыделение в лаве, чаще всего отмечают среднесуточную добычу, скорость подвигания лавы, ее длину, способы снижения утечек воздуха, схемы проветривания. Однако не предложены способы оперативной компенсации потерь добычи за счет варьирования указанными факторами.

6. Процесс изменения метановыделения по длине выемочного столба является динамическим нестационарным. Поэтому методы прогноза, основанные на обычном регрессионном анализе, не позволяют обеспечить приемлемую точность расчетов, и возникает необходимость использования адекватного изучаемому процессу математического аппарата.

В связи с изложенным, целью настоящей работы является обоснование параметров технологии отработки высокогазоносных угольных пластов, обеспечивающих повышение производительности механизированных комплексов.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие основные задачи исследования:

- разработать методику проведения шахтных инструментальных наблюдений и исследований влияния параметров угледобычи на геомеханические и газодинамические процессы при отработке высокогазоносных угольных пластов;
- обосновать математическую модель влияния угледобычи на процессы метановыделения и геомеханики выработанного пространства;
- разработать методику планирования суточной угледобычи на основе текущего прогноза максимально допустимой нагрузки по газовому фактору;
- разработать и обосновать параметры конструктивных и технологических решений, повышающих производительность механизированных комплексов в условиях высокой метанообильности;
- выполнить опытную проверку в шахтных условиях разработанных конструктивных и технологических решений и оценить их технико-экономическую эффективность.

Выводы по разделу 1

1. Аналитический обзор выполненных к настоящему времени исследований показал, что обеспечение стабильной работы высокопроизводительных лав весьма актуально, поскольку даже непродолжительные их простои ведут к существенным потерям добычи. Так, при работе очистного забоя со среднесуточной добычей 25000 т/сут его простой всего лишь на 1 ч ведет к потере почти 1450 т/сут.
2. Сравнение рассчитанных по нормативному документу значений абсолютного метановыделения с его фактической величиной, полученной при работе высокопроизводительных лав, показало, что расчетное значение значительно выше фактического и различие между ними растет с увеличением объемов добычи угля, поэтому рассчитанные традиционным способом данные нельзя использовать для оперативного прогноза метановыделения в очистные

забои и обоснования соответствующей среднесуточной добычи высокопроизводительными механизированными комплексами.

3. Установленный неоднозначный характер зависимости метановыделения от среднесуточной добычи и скорости подвигания лав не позволяет обеспечивать высокую степень обоснованности принимаемых технологических решений.

4. Процесс формирования уровней метановыделения в лавах по мере подвигания является нестационарным динамическим. Поэтому его надежное описание возможно только лишь с применением методов анализа динамических рядов.

5. Наиболее заметное влияние на динамику метановыделения в лавах оказывают следующие технологические факторы: среднесуточная скорость подвигания очистного забоя, среднесуточная добыча из него, среднечасовая скорость подачи выемочной машины, длина лавы и связанные с ней утечки воздуха в выработанное пространство.

6. Техничко-экономическая эффективность управления метановыделением в лавах в первую очередь связана со смягчением ограничений уровня добычи угля. Однако отдельно взаимосвязь этого показателя с применяемыми технологическим решениями не рассматривалась.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ УГЛЕДОБЫЧИ И МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

2.1 Методика проведения шахтных инструментальных наблюдений

Метановыделение из очистных забоев зависит от производственных и геомеханических факторов. Поэтому помимо данного показателя необходимо фиксировать значения и тех факторов, которые входят в указанные выше группы. Их перечень был определен на основе априорного анализа зависимости динамики выделения метана в лавы от влияющих факторов. К их числу прежде всего относят среднесуточную добычу и связанную с ней среднесуточную скорость подвигания очистного забоя и изменение напряженно-деформированного состояния углеродного массива при ведении очистных работ, оцениваемое значениями акустической эмиссии АЭ.

Поскольку шахтные данные для исследований предполагается представить в виде временных рядов [61, 62], то возникает необходимость определения длины ряда, периода подвигания очистного забоя между осадками основной кровли T_0 , минимального интервала временных рядов Δt , максимальной частоты спектра процесса метановыделения и общей длительности наблюдений.

Длина ряда должна обеспечивать возможность определения низкочастотной составляющей процесса с наибольшим периодом. За основу принимается период подвигания очистного забоя между осадками основной кровли T_0 :

$$T_0 = \frac{Ш_0}{v_{оч}} \quad (2.1)$$

где $Ш_0$ — шаг осадки основной кровли при отработке выемочного участка, м;

$v_{оч}$ — среднесуточное подвигание очистного забоя, м/сут.

Согласно рекомендациям Института горного дела им. А. А. Скочинского длина ряда должна составлять 5–10 периодов осадок основной кровли [63].

Минимальный интервал временных рядов согласно теореме Котельникова [64] рассчитывается по формуле

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot f_c} \quad (2.2)$$

Максимально возможная частота высокочастотного спектра f_c задается технологической цикличностью с периодом равным продолжительности снятия одной полосы угля в очистном забое. В условиях ш. «Молодогвардейская» средняя длительность снятия одной полосы по пласту k_2 составляет 2 часа. Тогда максимальная частота частотного спектра процесса метановыделения составит $f_c = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ ч}^{-1}$, а минимальный интервал ряда, рассчитанный по формуле (2.2), будет равен $\Delta t = 1$ час.

В то же время для текущего планирования рациональным является суточный объем добычи, так как реализация плана обеспечивается минимальным временем технической подготовки (одной ремонтной сменой). Обоснование текущей суточной нагрузки возможно при прогнозе среднечасовой метанообильности за суточный период. Таким образом, минимальный интервал временного ряда в 1 час обеспечит необходимую информативность в высокочастотном спектре.

Методика шахтных наблюдений состоит из 3-х этапов [65].

Этап 1. Мониторинг метанообильности. За показатель процесса метановыделения в данной работе принимается скорость выделения метана ($\text{м}^3/\text{мин}$). В некоторых исследованиях [66] расчетный показатель метанообильности считается менее точным, чем исходная для расчета концентрация метана. С нашей точки зрения, концентрация, так же как и абсолютное метановыделение, зависит от расхода воздуха в месте установки датчика. Поэтому использование показателя метанообильности способствует большему пониманию физической сущности самого процесса и его взаимосвязей с влияющими факторами.

Применяемая аппаратура газового контроля (АГК) [67] позволяет подготовить исходный временной ряд концентрации метана с достаточно малым интервалом дискретизации и любой длительности. Однако одно и то же значение концентрации может свидетельствовать о разных объемах выделившегося метана при изменении количества воздуха, проходящего по выработке. Изменение расхода воздуха происходит по разным причинам: открытие и закрытие вентиляционных дверей, изменение сечения и длины выработок, загромождение выработок материалами и оборудованием и т.п., поэтому коэффициент вариации расхода воздуха в выработке может достигать 24-28 % [68]. Автоматический контроль расхода воздуха по выработке осуществляется с помощью измерителя скорости движения воздуха ИСВ-1 или стационарным комплексом «Воздух». В итоге для контроля процесса метанообильности необходимо вести одновременно регистрацию показаний скорости воздуха и концентрации метана.

Этап 2. Мониторинг угледобычи. Для регистрации процесса выемки угля необходима разработка специального методического подхода, так как добыча в шахтной документации отражается укрупненно. В горных журналах через каждые десять дней по всей длине лавы геологической службой фиксируется средняя вынимаемая мощность пласта и плотность угля, маркшейдерской службой — площадь выемки. По полученным данным рассчитывается декадный объём добычи угля. Информация о сменной добыче фиксируется в участковой нарядной документации.

Для целей исследований необходима более детальная информация по добыче, поэтому предложена специальная методика контроля текущей добычи из очистного забоя на основе хронометражных круглосуточных наблюдений за положением комбайна в лаве и оценки производительности вынимаемого пласта. Регистрация положения комбайна в лаве производится по номерам секций механизированной крепи через принятый временной интервал. По длине вынимаемой полосы производятся замеры мощности угольных и пластовых породных пачек. Пример заполнения результатов сменного хронометража с часовым интервалом при 6-ти часовой смене приведен в таблице.

Таблица 2.1 — Пример заполнения таблицы сменного хронометража

	Смена	Показатели	Положение комбайна в лаве по номерам секций					
			1	2	3	4	5	6
Дата	1-я добычная	t	17	17	25	28	28	36
		N_H	17	25	28	28	36	36
		N_K	0	8	3	0	8	0
		продолжительность отключения электроэнергии АГК, мин	0	10	8	0	22	10
		m_y	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9
			0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3
			0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
		m_n	0,1	0,15	0,2	0,15	0,15	0,1
			0,2	0,1	0,05	0,20	0,15	0,2

В таблице приняты следующие обозначения

N_H , N_K — номера секции механизированной крепи соответственно на начало и конец временного интервала ряда;

t — периодичность контроля положения комбайна (принятый интервал временного ряда), $t = 1$ ч;

m_y , m_n — замеры мощности угольных и породных пачек на длине участка лавы, где произошла выемка угля, м.

Текущее значение ряда (добыча за принятый временной интервал ряда) рассчитывается по формуле:

$$A = (N_H - N_K) \cdot b \cdot p, \quad (2.3)$$

где b — шаг расстановки секций крепи по длине лавы, м;

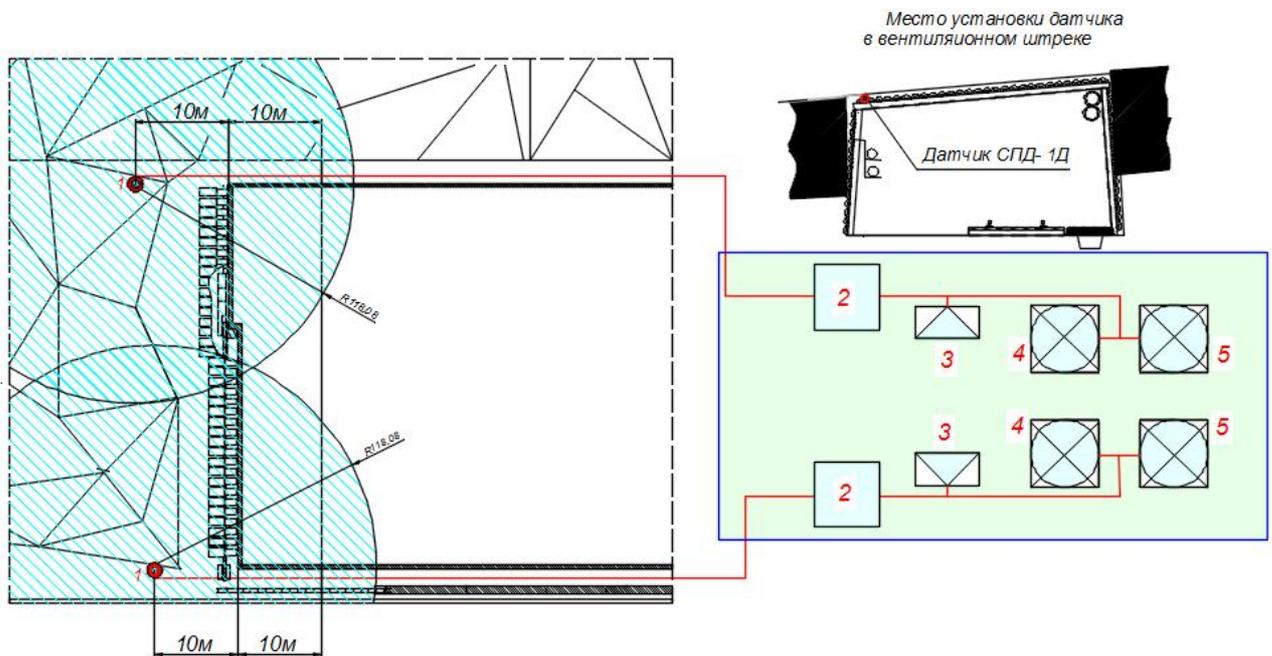
p — средняя производительность угольного пласта на длине лавы между номерами секций N_H и N_K :

$$p = \frac{\sum m_y \gamma_y + \sum m_n \gamma_n}{n}, \quad (2.4)$$

где γ_y , γ_n — плотность соответственно угля и породных пачек;

n — количество замеров мощности пласта.

Этап 3. Мониторинг геомеханических процессов. Последовательное изменение интенсивности геомеханических процессов по мере подвигания очистного забоя принято представлять за мерами опусканий кровли [69]. Замеры весьма трудоемки и не автоматизированы. С 1989 г. на угольных шахтах используется контроль интенсивности геомеханических процессов в окрестности очистного забоя датчиками акустической эмиссии с целью прогноза выбросоопасности угольного пласта [70]. Ритмичность, свойственная обрушениям непосредственной и основной кровли, вызывает периодическое перераспределение напряжений в горном массиве, которое достаточно достоверно описывается статистическими характеристиками динамики активности акустической эмиссии АЭ [71]. В данной работе предлагается использовать показатель акустической эмиссии для отражения влияния геомеханического процесса на динамику метановыделения в лаве. Регистрация сейсмоакустической активности производится с помощью звукоулавливающей аппаратуры типа ЗУА-98 (рис. 2.1) [72].



1 — датчик СПД-1Д, 2 — блок приема акустических сигналов;
3 — динамик звуковой; 4, 5 — каналы записи преобразованных сигналов

Рисунок 2.1 — Монтажная схема звукоулавливающей аппаратуры ЗУА-98

Пьезокерамический датчик приема акустических сигналов СПД-1Д устанавливается в шпурах, пробуренных в кровлю, или на контакте верхняка крепи подготовительной выработки с породами кровли. По данным ш. «Молодогвардейская» дальность качественного приема сигналов при категориях кровли А₃₋₄, Б₄₋₅ составляет до 116 м. Дальность акустического контроля с учетом запаса расстояния на перестановку датчиков с шагом 20 м составляет 65–75 м, что достаточно для регистрации процессов образования сводов обрушений в выработанном пространстве.

Из приведенного следует, что для обоснования математической модели текущего планирования добычи в очистном забое необходимы исходные данные в виде временных рядов добычи, метанообильности и акустической эмиссии.

Результаты сбора экспериментальных данных приведены в Приложении А.

2.2 Результаты проведенных наблюдений и их первичный анализ

По изложенной выше методике были проведены экспериментальные наблюдения в 17-ой и 28-ой орловских лавах ш. «Молодогвардейская». Краткая характеристика выемочных участков приведена в таблице 2.2.

На рассматриваемых выемочных участках применялась столбовая система разработки, управление кровлей — полное обрушение. 17 орловская лава отработывалась по восстанию, а 28 орловская лава — по простиранию. Выемка угля производилась механизированными комплексами ЗКД-90 с комбайном 2ГШ-68м и скребковыми конвейерами СП-326, СП-250. Длина лавы на участке 17 лавы 215 м, 28 лавы — 300 м. Плановая нагрузка на очистной забой составляла 1800 и 2000 т/сут, фактическая средняя за месяц суточная добыча колебалась в пределах от 1050 до 2400 т/сут. Таким образом, к анализу были приняты высокопроизводительные очистные забои.

Выемочные участки находились в восточной части шахтного поля. 17 орловская лава и монтажный ходок 28 орловской лавы отработывались вблизи

Самсоновского надвига. Плоскость сместителя надвига проходит в кровле на расстоянии 30-150 м от пласта k_2 .

Таблица 2.2 – Краткая характеристика выемочных участков

Лава	Средняя мощность пласта, м	Длина лавы, м	Средняя за месяц суточная добыча, т/сут	Схема проветривания	Средний расход воздуха на исходящей участка, м ³ /мин	Среднее метановыделение, м ³ /мин в выработки участка, м ³ /мин	Продолжительность наблюдений, час
			пределы изменения средней за месяц суточной добычи, т/сут		пределы изменения расхода воздуха, м ³ /мин		
17 орловская лава	2,0	215	$\frac{1860}{1050-2400}$	3-В-Н-н-пт	$\frac{2000}{1800-2200}$	$\frac{14,8}{5,7-22,7}$	10512
28 орловская лава	2,2	300	$\frac{1570}{1320-2200}$	1-М-Н-в-вт	$\frac{1200}{800-2000}$	$\frac{9,1}{2,7-16,4}$	12408

Непосредственная кровля пласта представлена известняком мощностью 0,5–1,5 м и глинистым сланцем мощностью 0,3–4,0 м. Основная кровля — газоносный песчаник мощностью 20–26 м и средней природной метаноносностью 3,6 м³/т, который залегает в среднем на 4 м от пласта, почва — глинистый сланец мощностью 2,6-4,5 м и песчаник мощностью 6,0-8,0 м. Песчаник кровли состоит из двух слоев разной зернистости. Верхний слой песчаника является газовым коллектором. Наибольшие объемы газа, выделившиеся в горные выработки и дегазационные скважины, приурочены к изменениям общей мощности песчаника в кровле пласта от минимальных $m=16-18$ м до максимальных $m=40$ м. К переходным значениям мощности песчаника приурочены протяженные тектонические структурные формы (антиклиналь и флексуры). Нижний слой песчаника характеризуется пониженной прочностью. Преобладание в песчанике верхнего слоя приводит к зависанию основной кровли на интервале 30-40 м по ходу очистного забоя, большим динамическим нагрузкам на призабойную часть,

огромным выбросам газа в выработанное пространство при посадке. Выделение метана из почвы пласта незначительное (по замерам МакНИИ до 5% общего газовыделения на участке). В кровле пласта на расстоянии 30 м залегает некондиционный пласт-спутник k_2^1 мощностью 0,2 м.

Природная газоносность пласта k_2 составляет 20 м³/т с.б.м. Среднее метановыделение в выработки на участках колебалось от 9,1 до 14,8 м³/мин. Для проветривания выемочных участков подавалось в среднем от 1200 до 2000 м³/мин воздуха. Схема проветривания выемочного участка 17 орловской лавы прямоточная с выдачей исходящей струи на выработанное пространство, а 28 орловской лавы — возвратноточная на массив с изолированным отводом метана из выработанного пространства по неконтролируемым выработкам за счет общешахтной депрессии. Для снижения метанообильности выемочных участков применялась комплексная дегазация пород и угольных пластов кровли подземными и поверхностными скважинами. На выемочных участках пробурено от 7 до 9 вертикальных дегазационных скважин с поверхности. Из подготовительных выработок бурились спаренные скважины через 40 м, при подходе к спутнику пласта расстояние между скважинами 20 м.

На этапе первичного анализа графика изменения метановыделения в очистном забое по мере его подвигания устанавливается характер данного процесса. При этом проверяется, является ли этот процесс эргодическим и стационарным. От наличия этих свойств зависит дальнейшая методика анализа и прогноза процесса. Если ряд эргодический, стационарный и нормально распределен, то статические характеристики процесса могут быть приближенно определены по одной реализации как осредненные значения по времени.

На рисунках 2.2 и 2.3 приведены графики изменения I от t для 28-й и 17-й орловской лавы ш. «Молодогвардейская». Визуальный анализ графиков показал, что приведенный временной ряд является случайным, динамическим. Что же касается его эргодичности, то процесс метановыделения на выемочном участке

всегда представлен одной реализацией и поэтому практическое использование свойства эргодичности невозможно.

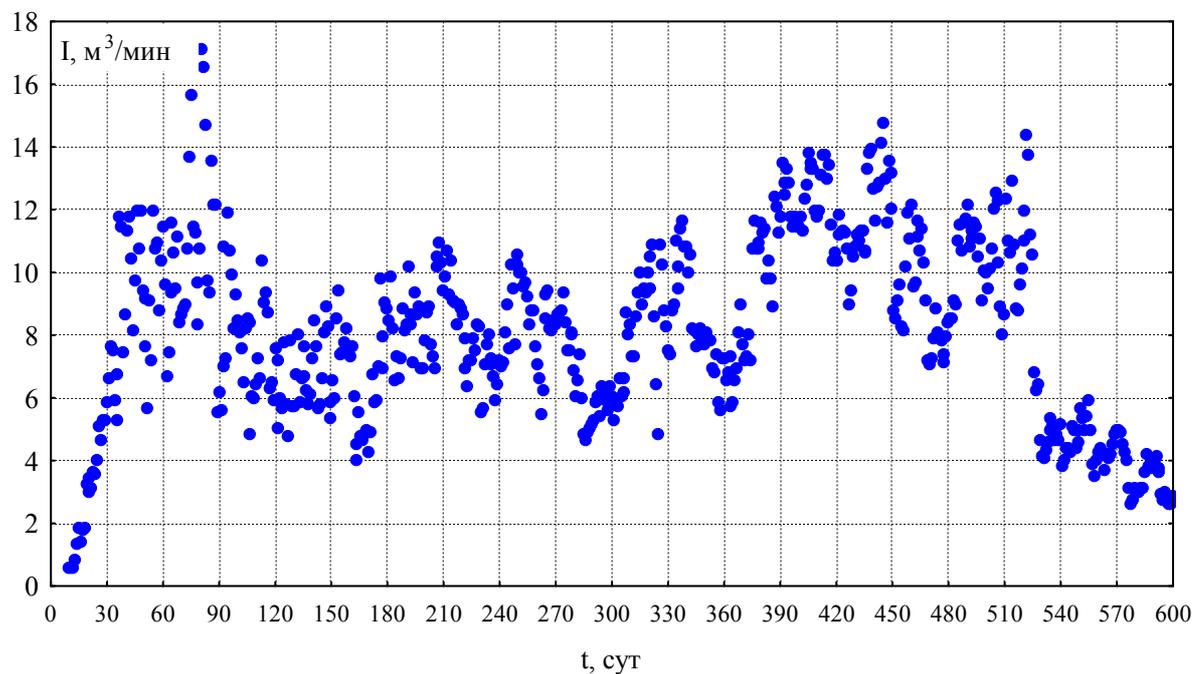


Рисунок 2.2 — Ряд среднесуточной метанообильности очистного забоя 28-й орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

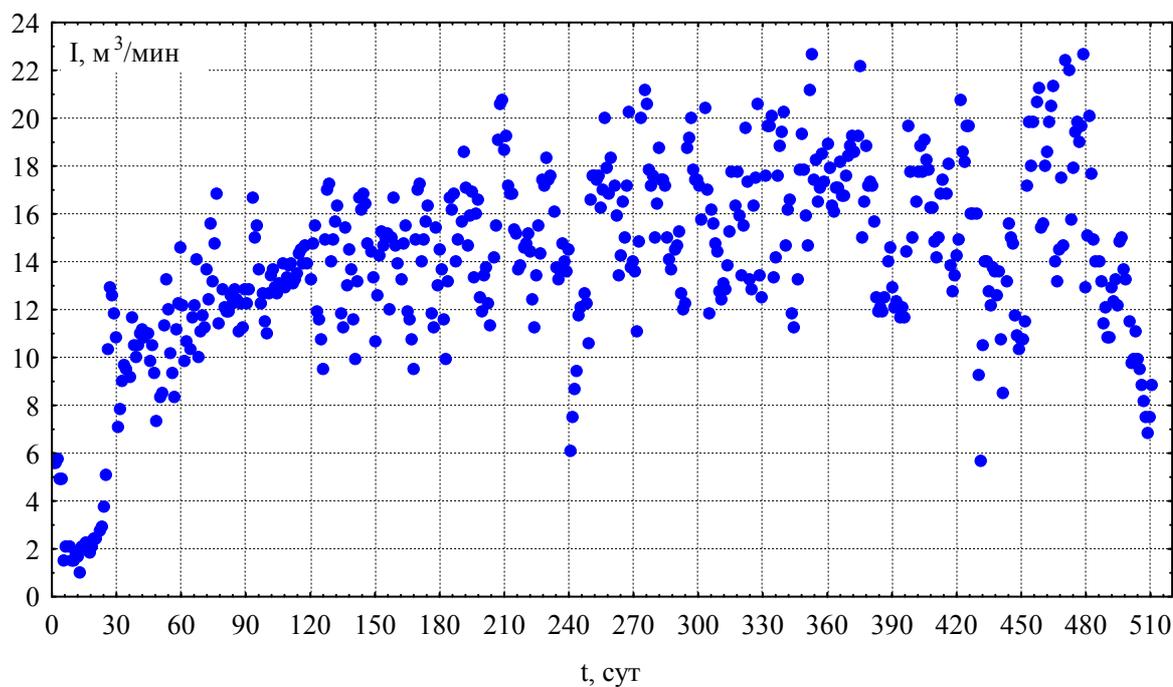


Рисунок 2.3 — Ряд среднесуточной участковой метанообильности 17-й орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

При анализе одной реализации процесса под свойством стационарности понимается, что характеристики, рассчитанные по отрезкам времени, не меняются значимо, то есть ряд сохраняет стохастические свойства на всем своем протяжении. Выбираем отрезок времени для сравнения — один месяц.

Стационарность оценивалась путем сравнения среднемесячных значений метанообильности по длине ряда 28-ой орловской лавы (табл. 2.3–2.5), а также построения автокорреляционной функции (рис. 2.4, 2.5).

Таблица 2.3 — Основные статистические характеристики ряда метанообильности очистного забоя 28-й орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

Месяц	Количество наблюдений	\bar{I} , м ³ /мин	σ_I , м ³ /мин	I_{\min} , м ³ /мин	I_{\max} , м ³ /мин
авг.07	31	4,51	3,01	0,56	11,76
сен.07	30	9,72	1,71	5,68	11,99
окт.07	31	10,45	3,02	5,51	17,12
ноя.07	30	6,95	1,40	4,80	10,38
дек.07	31	7,27	1,47	5,38	11,85
январь.08	31	7,60	2,07	4,01	10,31
фев.08	29	8,94	1,13	6,93	10,70
мар.08	31	7,86	1,41	5,54	10,56
апр.08	30	8,23	1,10	5,49	10,26
май.08	31	6,19	1,20	4,73	9,45
июн.08	30	7,55	1,17	3,71	9,99
июл.08	31	6,68	1,26	4,30	10,76
авг.08	31	11,71	1,14	8,91	13,80
сен.08	30	11,60	1,37	9,00	15,31
окт.08	31	12,45	3,31	8,16	19,95
ноя.08	30	9,46	1,72	7,08	12,13
дек.08	31	10,31	1,98	6,24	14,36
январь.09	31	4,68	0,57	3,50	5,94
фев.09	28	3,87	0,73	2,60	4,94
мар.09	16	3,13	0,61	2,35	4,15

Следует отметить существенно отличающиеся от остальных значения среднего квадратического отклонения σ_I в 1-й, 3-й и 15-й месяц, что указывает на неоднородность данных. Этот вывод подтверждает также тест Левена, результаты которого приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 — Результаты проверки на однородность дисперсии ряда метанообильности 28-ой орловской лавы

Источник изменчивости	Сумма квадратов отклонений SS	Степени свободы df	Средний квадрат MS	Статистика F	Значимость p
Между месяцами (Between Groups)	222,1758	19	11,6935	10,9749	0,00001
Внутри месяца (Within Groups)	611,5825	574	1,0655		

Так как уровень значимости теста Левина $p \ll 0,05$, то принимаем гипотезу о различии дисперсий по месяцам наблюдений, и, следовательно, ряд метанообильности I является нестационарным по дисперсии.

Для анализа статистических различий среднемесячных значений I используется непараметрический тест Фридмана, который не требует нормального закона распределения и однородности дисперсий. Этот тест основан на сравнении суммы рангов (табл. 2.5), вычисленных по каждому месяцу.

Таблица 2.5 — Результаты сравнения среднемесячных значений ряда метанообильности 28-ой орловской лавы

Переменная	Средний ранг	Сумма рангов
авг.07	1,44	23
сен.07	14,69	235
окт.07	16,81	269
ноя.07	10,44	167
дек.07	9,25	148
январь.08	7,38	118
фев.08	13,38	214
мар.08	9,38	150
апр.08	12,13	194
май.08	6,31	101
июн.08	10,31	165
июл.08	7,13	114
авг.08	17,25	276
сен.08	18,38	294

Переменная	Средний ранг	Сумма рангов
окт.08	18,75	300
ноя.08	11,50	184
дек.08	16,06	257
январь.09	4,13	66
февр.09	3,69	59

Сумма рангов значительно различается по месяцам, что подтверждается статистикой $\chi^2 = 258,46$, $p \ll 0,05$. Этот же вывод получен на основании коэффициента конкордации Кендалла ($r_K = 0,52$), который рассчитывается путем усреднения коэффициентов корреляции для каждой пары участвующих в анализе групп. Проведенный анализ показал статистически значимые различия в среднемесячных значениях ряда метанообильности.

Анализ данных 17-ой орловской лавы (табл. 2.6, 2.7) показал аналогичные результаты — ряд метанообильности является нестационарным по математическому ожиданию и дисперсии.

Таблица 2.6 — Основные статистические характеристики ряда участковой метанообильности 17-й орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

Месяц	Количество наблюдений	\bar{I} , м ³ /мин	σ_I , м ³ /мин	I_{\min} , м ³ /мин	I_{\max} , м ³ /мин
мар.06	31	6,04	4,18	1,52	8,76
апр.06	29	10,75	1,60	7,63	12,99
май.06	28	12,98	1,59	9,52	13,14
июн.06	28	13,44	1,63	10,38	15,01
июл.06	25	14,18	1,89	12,28	16,85
авг.06	30	15,68	2,47	12,01	18,05
сен.06	30	13,60	3,09	9,93	18,98
окт.06	31	16,79	2,35	12,54	20,36
ноя.06	30	15,60	2,44	11,49	20,26
дек.06	31	16,46	2,54	14,73	19,45
январь.07	30	17,35	2,33	13,71	19,29
февр.07	28	14,84	3,01	10,30	18,76
мар.07	30	15,83	3,23	11,91	20,80
апр.07	29	14,68	3,53	9,00	19,31
май.07	28	16,64	3,52	12,16	19,95
июн.07	4	13,99	1,60	11,08	15,13

Таблица 2.7 — Результаты проверки на однородность дисперсии ряда метанообильности 17-ой орловской лавы

Источник изменчивости	Сумма квадратов отклонений SS	Степени свободы df	Средний квадрат MS	Статистика F	Значимость p
Между месяцами (Between Groups)	325,1938	17	19,1290	15,0020	0,00001
Внутри месяца (Within Groups)	512,5825	402	1,2751		

Статистический тест (табл. 2.7) показал неоднородность дисперсий, следовательно, ряд участковой метанообильности 17-ой орловской лавы является нестационарным.

На рисунках 2.4 и 2.5 приведены графики автокорреляционной функции ряда среднесуточных значений метанообильности I . Автокорреляционная функция (АКФ) характеризует зависимость значений временного ряда I в некоторый момент времени t от значений в любой другой момент $t + \tau$ со сдвигом τ .

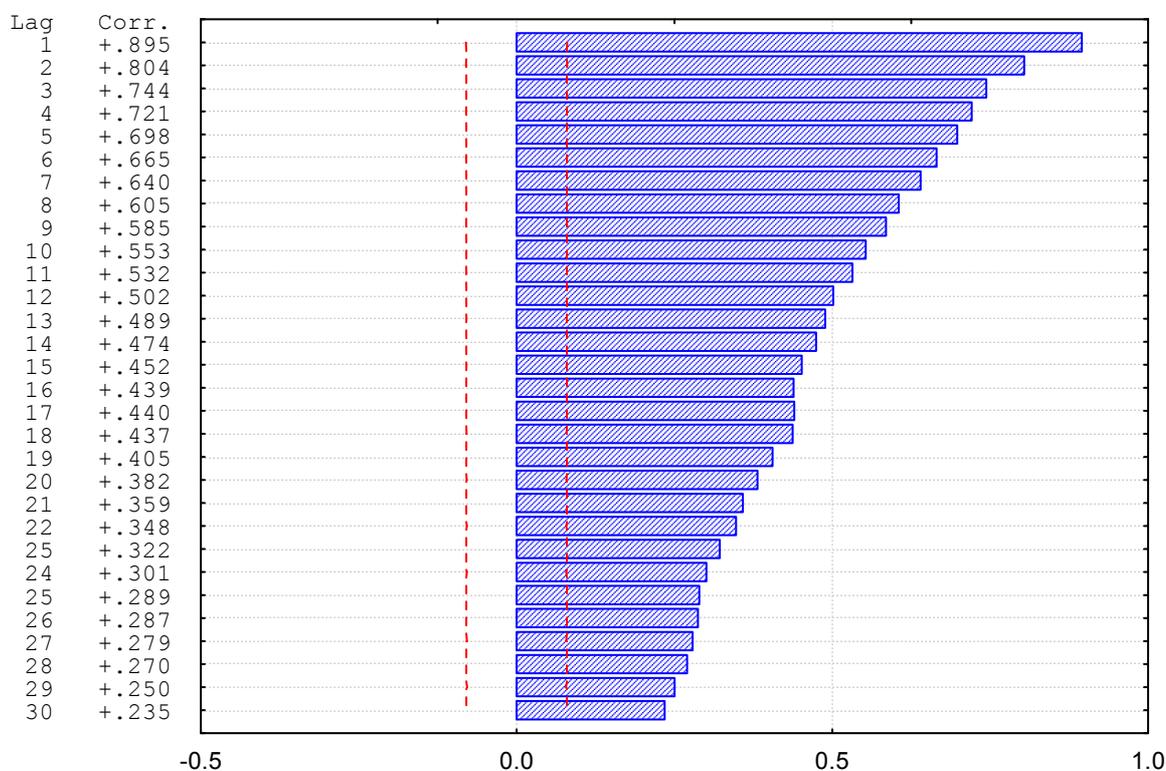


Рисунок 2.4 — Автокорреляционная функция ряда среднесуточных значений метанообильности 28 орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

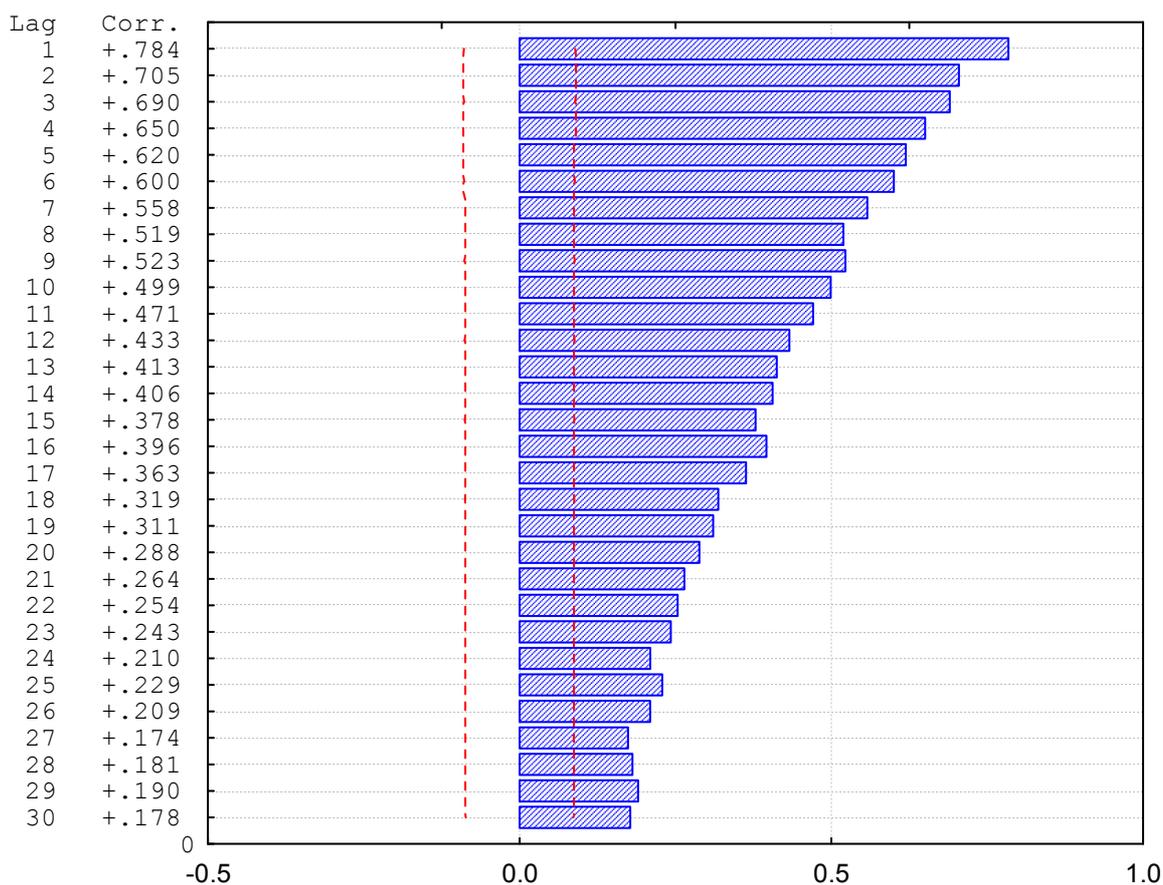


Рисунок 2.5 — Автокорреляционная функция ряда среднесуточных значений метанообильности 17 орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

Все значения коэффициентов корреляции со сдвигом до 30 суток значимы и положительны, значит, ряд I сохраняет положительную корреляцию длительное время. Это значит, что имеют место большие значения ряда, превышающие среднее, и в будущем следует ожидать еще большие значения, т.е. наблюдается устойчивый тренд. Таким образом, подтверждается нестационарность ряда среднесуточных значений метанообильности I .

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что процесс изменения I во времени имеет ярко выраженный нестационарный динамический характер. Данный вывод может объясняться влиянием большого числа факторов, изменяющихся по мере подвигания лавы, в первую очередь, колебанием уровня добычи из нее. О чем свидетельствует изменение I от A в течение суток, т.е. когда каких-либо существенных изменений других факторов, кроме добычи, в лаве не происходит [73].

Нестационарность изменения динамического процесса подтверждается и путем изучения взаимосвязи коэффициента неравномерности метановыделения с ростом I_{cp} [74, 75]. Коэффициент неравномерности метановыделения для каждого месяца стабильной работы очистного забоя определяется по общепринятой формуле:

$$k_H = \frac{I_{max}}{I_{cp}} = 1 + 3 \cdot \frac{\sigma I}{I_{cp}} \quad (2.5)$$

Связь k_H и I_{cp} описывается уравнением регрессии со значимым коэффициентом корреляции ($r = 0,89$, $n = 11$) [75]:

$$k_H = 11,57 \cdot I_{cp}^{-0,96} \quad (2.6)$$

Общая структура формы взаимосвязи не противоречит приведенной в нормативном документе [1], но значения коэффициентов регрессии существенно отличаются, что, на наш взгляд, объясняется влиянием принципиально больших нагрузок на лаву.

Характерные особенности динамики суточной угледобычи и максимальной метанообильности проиллюстрированы на рисунке 2.6 (участок подвигания 28 орловской лавы в период с 21.12.07 по 10.02.08). Отмеченные зоны №№ 1–4 разделяются сбоями угледобычи, когда объем добычи снижается от 1000 т/сут до 0. Как видно из рисунка 2.6, после сбоя на следующие сутки происходит резкое увеличение угледобычи в 3,6–3,7 раза. Например, на участке № 3 добыча с 800 т/сут увеличилась до 2915 т/сут, на участке № 4 — с 762 т/сут до 2797 т/сут. Подобные ситуации встречаются часто и объясняются стремлением бригады ГРОЗ компенсировать потери добычи, несмотря на рост максимальных метановыделений и на увеличения числа срабатываний аппаратуры автоматического газового контроля (АГК). Последующий рост метанообильности вызывает необходимость снижения угледобычи.



Рисунок 2.6 — Особенности влияния угледобычи на максимальные значения метанообильности по 28 орловской лаве

Наблюдаемые колебания угледобычи с большой амплитудой повышают аварийность шахтной транспортной цепочки, вызывают колебание потребности в крепежных материалах, что в конечном итоге является причиной возникновения газовых аварий. Очевидно, что в результате сбоев угледобычи происходит естественная дегазация пласта, что обеспечивает возможность повышения добычи без нарушения требований по газовой безопасности. Уровень этого повышения в процессе отработки выемочного участка изменяется в зависимости от длительности предшествующего простоя. Поэтому для повышения эффективности нарядной системы шахты при планировании угледобычи на очередные сутки и контроля текущей ситуации службой по безопасности ведения горных работ необходима разработка методики прогноза текущего потенциала технической производительности механизированного комплекса по газовому фактору. Действующим нормативным документом [1] не предусмотрено оперативное ежесуточное планирование добычи на основе учета естественной дегазации призабойного пространства во время предшествующего простоя очистного забоя.

Таким образом, подводя итог выполненным исследованиям, характер процесса I во времени и пространстве относится к числу динамических нестационарных. В связи с этим для его описания следует применять соответствующие математические методы. Поскольку общее число предложенных к настоящему времени таких методов достаточно велико, то возникает необходимость их анализа с целью выбора наиболее адекватного характеру решаемой задачи.

2.3 Обоснование выбора математических методов анализа динамических процессов

Описание динамических процессов возможно с использованием регрессионного анализа, позволяющего строить многофакторные модели, которые совместно используют информацию, характеризующую динамику явления и пространственную информацию о взаимосвязи факторов.

Использование регрессионных моделей для прогноза взаимосвязанных временных рядов помимо требования нормального закона распределения также ограничивается требованием отсутствия автокорреляционной зависимости в остатках, что редко выполняется. Как правило, наблюдаемые временные ряды являются слабо стационарными, и, следовательно, по теореме Волда могут быть представлены в виде скользящего среднего бесконечного порядка, т.е. имеют длинный хвост предыстории, что формирует автокорреляцию в остатках. Поэтому оценки коэффициентов регрессии, полученные по методу наименьших квадратов, не имеют оптимальных статистических свойств и построенная модель не будет являться адекватной.

При построении регрессионных моделей по временным рядам также возникает проблема мультиколлинеарности, которая означает, что между аргументами существует линейная связь. В этом случае требуется либо привлечение дополнительной информации, либо преобразование множества независимых переменных в ортогональные множества с помощью факторного анализа и анализа главных компонент.

Более адекватно временной ряд можно описать путем разложения на структурные составляющие и регрессионного анализа его компонент с влияющими факторами. Такой подход позволяет достаточно точно прогнозировать изменение изучаемого процесса во времени и пространстве, но требует построения длинных временных рядов [76]. Разложение исходного динамического ряда на компоненты с последующей их комбинацией позволяет хорошо описывать уже окончательно сформированные временные ряды, но использование полученных моделей для прогноза изменения показателей в новых объектах требует доказательства, что он является аналогичным предшествующему. Для условий угольных шахт это сложно выполнить из-за влияния большого числа факторов и их собственной изменчивости.

В последнее время широко предлагается использовать для прогноза динамических процессов алгоритмы нейронных сетей [77]. При этом следует учесть, что для обучения нейросети требуется большой объем информации и

представление структуры взаимосвязи. Если достаточно большой объем фактической информации собран, то модель можно использовать для текущего прогноза, но так как модель не имеет явного вида, то использование ее для моделирования ситуации или управления затруднительно. Также опасность представляет переобученность нейросети, когда она запоминает одни примеры и плохо распознает другие, не участвовавшие в процессе обучения, т.е. ситуации, предъявляемые ей в процессе практического использования.

Из всех математических моделей описания нестационарных динамических процессов, на наш взгляд, наиболее полно отвечает поставленной задаче метод построения моделей с распределенным лагом, учитывающий оценку запаздывающего влияния между рядами [78]. В этом случае предполагается, что значение прогнозируемого процесса в текущий момент времени формируется под воздействием ряда факторов, действовавших в прошлые моменты времени, т.е. с некоторым запаздыванием (лагом). Модель с распределенным лагом имеет вид:

$$y_i = \alpha_0 x_i + \alpha_1 x_{i-1} + \alpha_2 x_{i-2} + \dots + \alpha_p x_{i-p} + \varepsilon_i, \quad (2.9)$$

где y_i — значение прогнозируемого процесса в момент времени t_i , $i = 1, \dots, \ell$;

ℓ — время прогнозирования;

$x_i, x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-p}$ — значения влияющего фактора соответственно в моменты времени $t_i, t_{i-1}, t_{i-2}, \dots, t_{i-p}$;

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ — параметры модели, требующие оценки;

p — величина запаздывания влияния, определяют по количеству значимых членов взаимной корреляционной функции рядов;

ε_i — ошибка модели — случайная величина, учитывающая влияние факторов, не включенных в модель.

Оценки коэффициентов модели с распределенным лагом имеют свою специфику [78]: эти оценки не могут быть получены с помощью стандартного метода наименьших квадратов ввиду нарушения его предпосылок, прежде всего наличия коллинеарности в регрессорах, т.е. тесной связи текущих и лаговых значений независимой переменной. Помимо этого, в таких моделях часто

присутствует автокорреляция в остатках. Для решения этих проблем используется специальная процедура — метод Алмон [78], использующий представление лагов через их структуру. Определение структуры лага означает установление силы влияния и формы связи между результатом и значениями факторной переменной, относящимися к различным моментам времени. В большинстве случаев эта связь вполне адекватно может быть описана линейной моделью

$$\alpha_j = \beta_0 + \beta_1 \cdot j, \text{ где } j = \overline{1; p}. \quad (2.10)$$

В этом случае модель (2.9) принимает вид:

$$y_i = \sum_{j=0}^p \alpha_j x_{i-j} + \varepsilon_i = \sum_{j=0}^p (\beta_0 + \beta_1 j) x_{i-j} + \varepsilon_i = \beta_0 \sum_{j=0}^p x_{i-j} + \beta_1 \sum_{j=0}^p j x_{i-j} + \varepsilon_i = \beta_0 z_0 + \beta_1 z_1 + \varepsilon_i, \quad (2.11)$$

где $z_0 = x_i + x_{i-1} + x_{i-2} + \dots + x_{i-p}$; $z_1 = x_{i-1} + 2x_{i-2} + 3x_{i-3} + \dots + px_{i-p}$.

Оценки коэффициентов β_0 и β_1 модели (2.11), рассчитанные с помощью взвешенного метода наименьших квадратов, позволяют получить эффективные оценки в моделях регрессии без свободного члена. После обратной замены, подставляя оценки β_0 и β_1 в (2.10), можно получить оценки коэффициентов искомой модели:

$$y_i = \beta_0 x_i + (\beta_0 + \beta_1) x_{i-1} + (\beta_0 + 2\beta_1) x_{i-2} + \dots + (\beta_0 + p\beta_1) x_{i-p} + \varepsilon_i. \quad (2.12)$$

В модели (2.12) коэффициенты характеризуют степень влияния распределенного (пролонгированного) фактора x_i на результат y_i . Отличительной особенностью данного метода описания динамических рядов является то, что он не требует заблаговременного построения и обработки длинных динамических рядов. Для его реализации необходимо иметь обобщенную исходную модель, прогноз по которой постоянно уточняется с использованием текущих фактических значений. Именно с этой точки зрения используемый метод наиболее адекватен характеру решаемой задачи применительно к условиям шахты.

Выводы по разделу 2

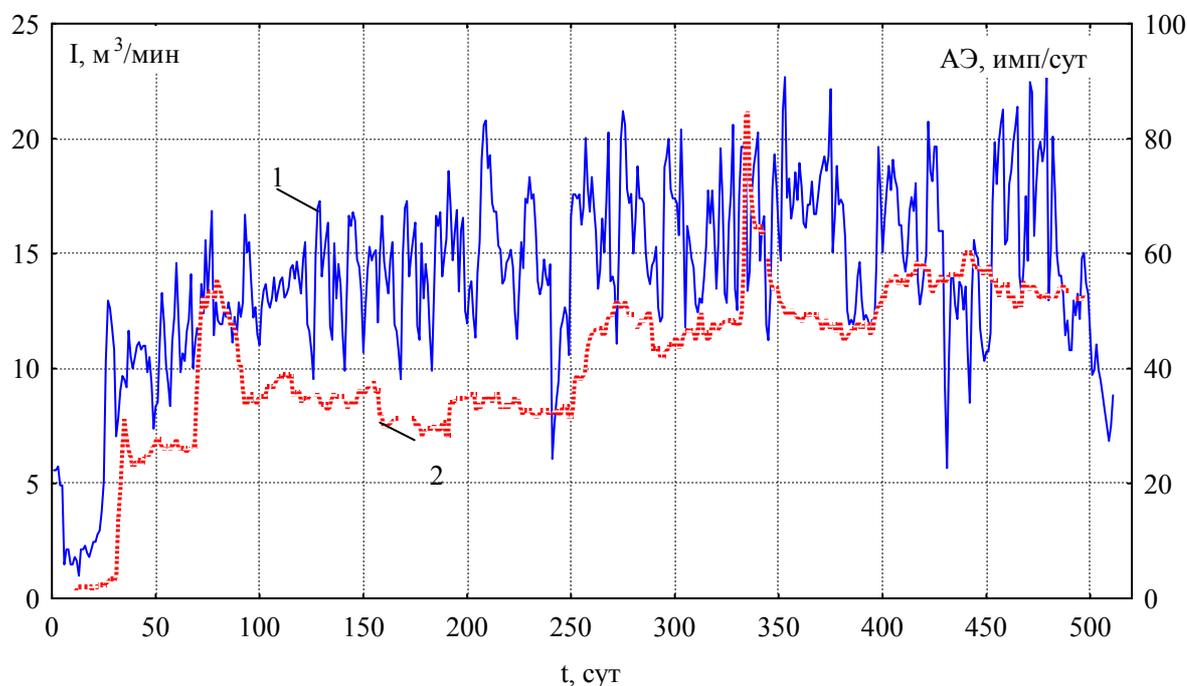
1. Разработана методика проведения шахтных экспериментальных наблюдений, предусматривающая фиксацию фактических значений абсолютных выделений метана в лаве по данным о его концентрации в метановоздушной струе, расходах воздуха, среднесуточной добычи и скорости подвигания лавы, акустической эмиссии, шаге обрушения пород основной кровли.
2. Установлено, что для обеспечения представительности шахтных экспериментальных данных их фиксация должна определяться за период не менее 5-ти случаев осадок основной кровли, а шаг замеров должен составлять одни сутки.
3. Первичная обработка экспериментальных данных предопределяет построение и анализ временных рядов изменения абсолютного метановыделения по мере подвигания лавы.
4. Анализ временных рядов изменения метановыделения в лавах осуществлялся с целью установления характера случайного процесса, является ли он стационарным или нестационарным, динамическим или статичным. Для этого было проанализировано изменение средних значений и среднеквадратического отклонения по длине подвигания лавы и определен вид автокорреляционной функции. По результатам расчетов установлено, что процесс метановыделения в лаве является динамическим нестационарным.
5. Установлено, что характерной особенностью отработки угольных пластов высокопроизводительными механизированными комплексами являются частые экстремально высокие нагрузки по производительности, возникающие с целью компенсации потерь угледобычи после сбоев в работе технологической схемы шахты. После экстремально высоких нагрузок, приводящих к росту метановыделения, возникают дополнительные простои из-за АГК, усиливающие нестабильность работы выемочного участка.
6. Выполнен анализ математических методов описания нестационарных динамических процессов и установлено, что наиболее адекватным характеру поставленной задачи является метод построения моделей с распределенным лагом.

3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗИ УГЛЕДОБЫЧИ, МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ И ПРОЦЕССОВ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

3.1 Анализ временных рядов метановыделения и влияющих на него факторов

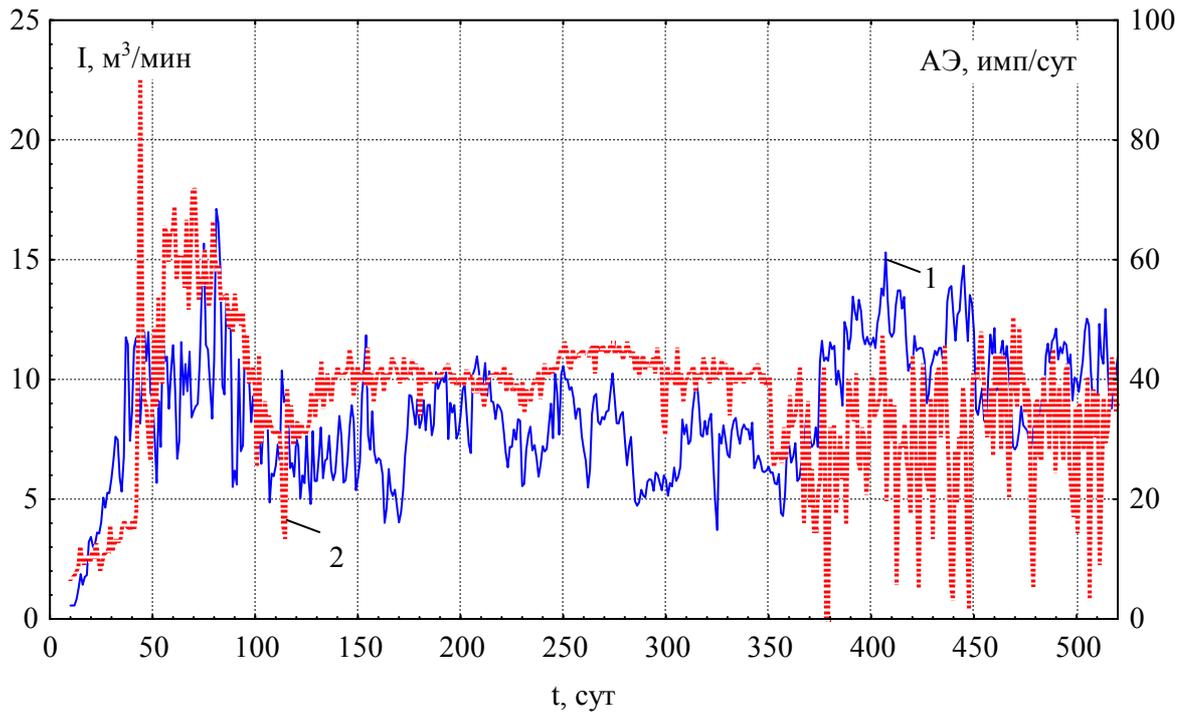
Основной целью спектрального анализа временных рядов является выделение компонент закономерного изменения величин реализации изучаемого процесса с течением времени или в пространстве, что особенно важно с точки зрения построения моделей, описывающих динамику вариации выделения метана и сопутствующих ему факторов.

На рисунках 3.1, 3.2 показаны совмещенные графики изменения метанообильности (I) и акустической эмиссии (АЭ) в 17-й и 28-й орловской лаве ш. «Молодогвардейская» [52]. Следует отметить, что данные по 17-ой орловской лаве использовались при проектировании 28-ой орловской лавы как аналога.



1 — метанообильность, 2 — акустическая эмиссия

Рисунок 3.1 — Динамика метанообильности и активности акустической эмиссии по длине выемочного участка 17 орловской лавы ш. «Молодогвардейская»



1 — метанообильность, 2 — акустическая эмиссия

Рисунок 3.2 — Динамика метанообильности и активности акустической эмиссии по длине выемочного участка 28 орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

Визуальный анализ этих графиков подтверждает, что характер процесса метановыделения в 17-й и 28-й лавах явно нестационарный. При этом просматривается общая тенденция запаздывания локальных максимумов метанообильности по отношению к локальным максимумам АЭ.

Построение совместных графиков I и АЭ позволило в дальнейшем установить их взаимосвязь и отразить влияние на I циклических изменений напряженно-деформированного состояния углевмещающих пород, а также проверить выдвинутую в работах [44, 71, 80] гипотезу.

Однако четкой синхронизации при первичном анализе выделить не удастся, так как она проявляется на фоне влияния других факторов. С целью более четкого отражения возможных закономерностей изменения I и АЭ их исходные ряды были разложены на компоненты с использованием метода сингулярного спектрального анализа (SSA) [49, 62, 79].

Метод SSA предназначен для исследования структуры временных рядов и совмещает в себе достоинства многих других методов, в частности анализа Фурье и регрессионного анализа. Суть метода заключается в следующем: одномерный ряд преобразуется в матрицу развертки с помощью однопараметрической сдвиговой процедуры, затем осуществляется сингулярное разложение этой матрицы. Из полученного набора главных компонент выбираются значимые компоненты, по которым восстанавливается ряд. Результатом применения метода является разложение временного ряда на компоненты, которые представляют собой медленные тренды, циклические составляющие и шум. Принцип действия SSA во многом схож с Фурье-фильтрацией: здесь исходный ряд также представляется в виде набора составляющих, только в SSA эти составляющие не являются в общем случае гармоническими, а имеют изменяющийся период по времени изменения процесса. Особенностью метода SSA является обработка матрицы по алгоритму, близкому к методу главных компонент, который используется для выделения наиболее значимых составляющих ряда и отсева случайных возмущений. Анализ полученных составляющих позволяет выделять периодические и квазипериодические составляющие временного ряда. SSA точнее выделяет периодические составляющие и дает более точный долгосрочный прогноз для достаточно регулярных рядов. Выделенные компоненты ряда формируются под влиянием факторов, определяющих динамику изучаемого показателя. Таким образом, метод позволяет устанавливать внутреннюю структуру показателя, изменяющегося во времени, и объяснять причины этих изменений.

На рисунках 3.3–3.6 представлены результаты разложения исходных рядов методом SSA на трендовые и циклические компоненты различного периода. Трендовая компонента определяет тенденцию изменения показателя во времени, циклические компоненты представляют собой отклонения от тренда в большую и меньшую сторону и отражают периодический характер колебаний показателя во времени. Среди полученных компонент разложения выделяются компоненты с одинаковым периодом: 19–20, 28–30 суток (рис. 3.7, 3.8).

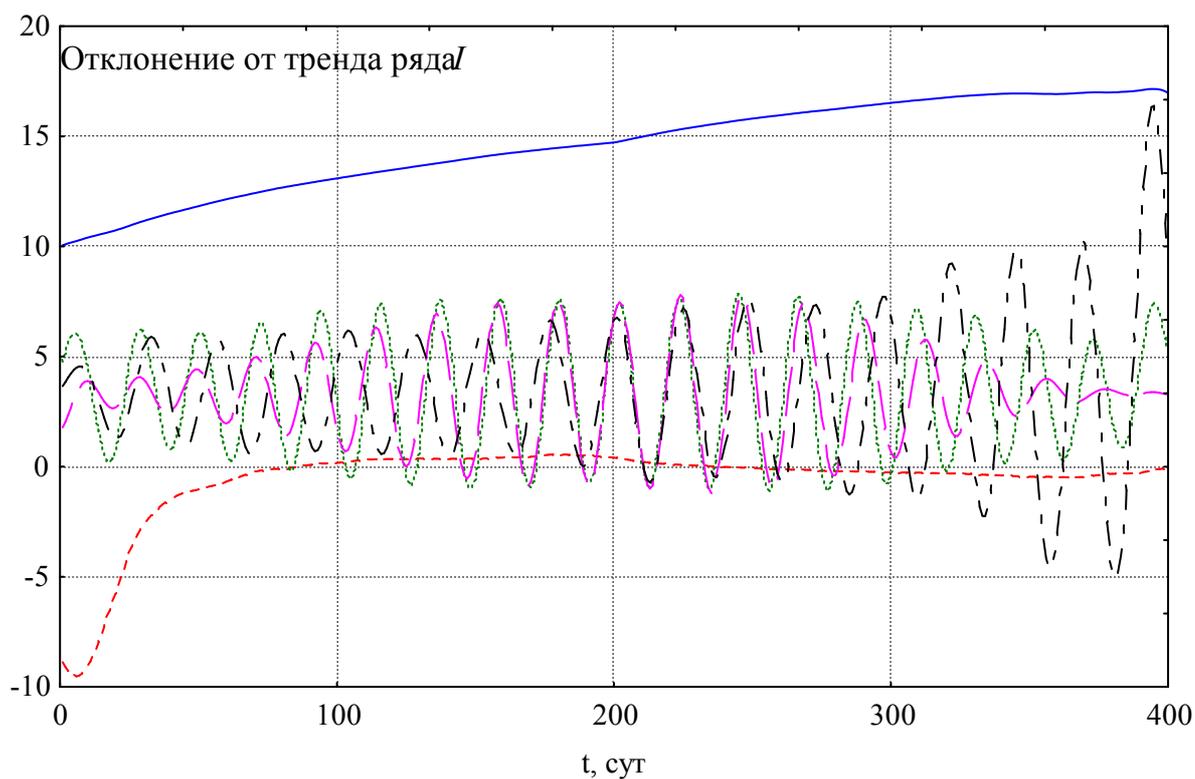


Рисунок 3.3 — Первые пять компонент разложения ряда I по 17-ой лаве

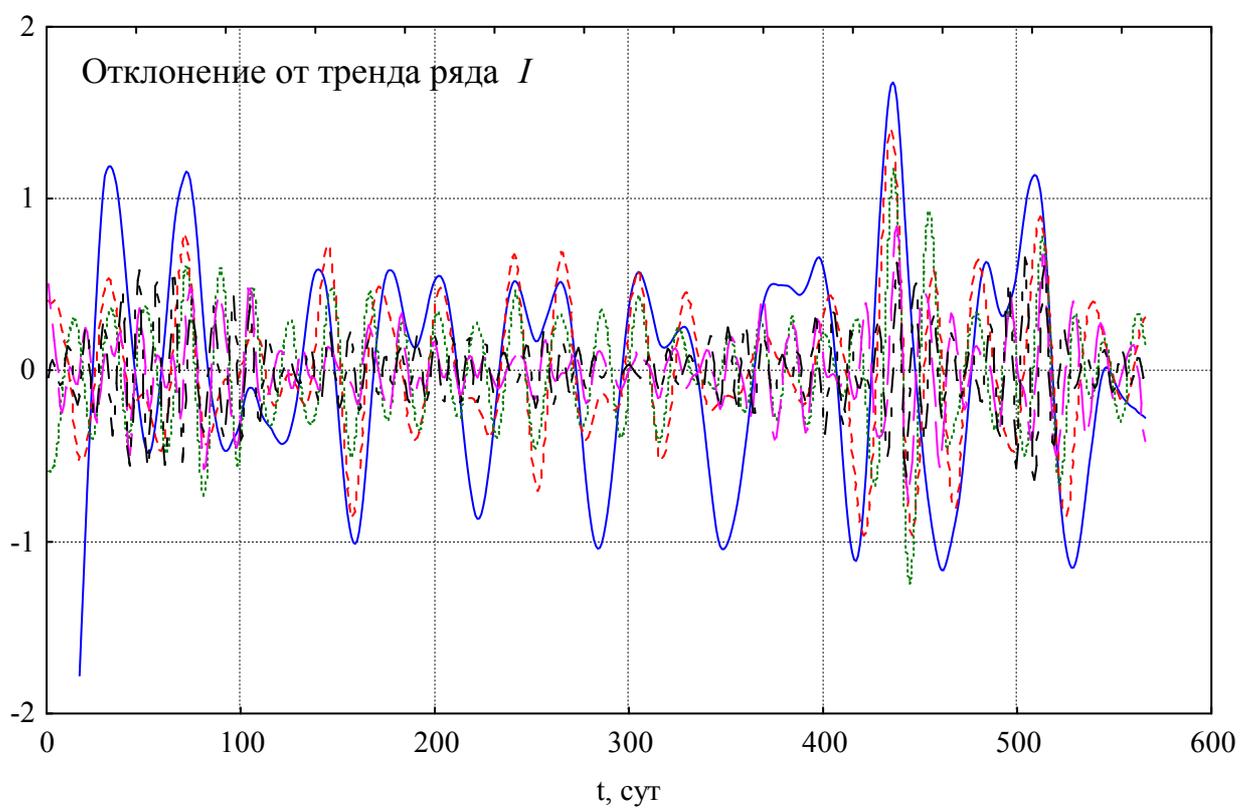


Рисунок 3.4 — Первые пять компонент разложения ряда I по 28-ой лаве

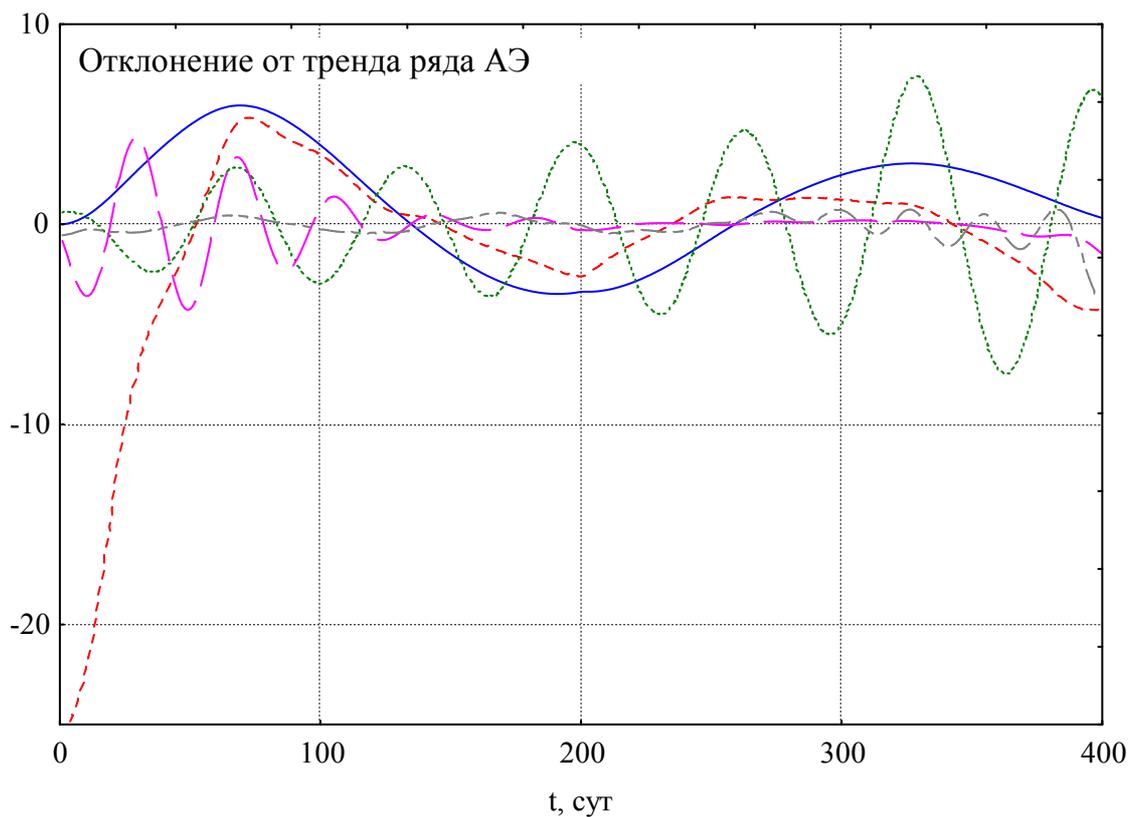


Рисунок 3.5 — Первые пять компонент разложения ряда АЭ по 17-ой лаве

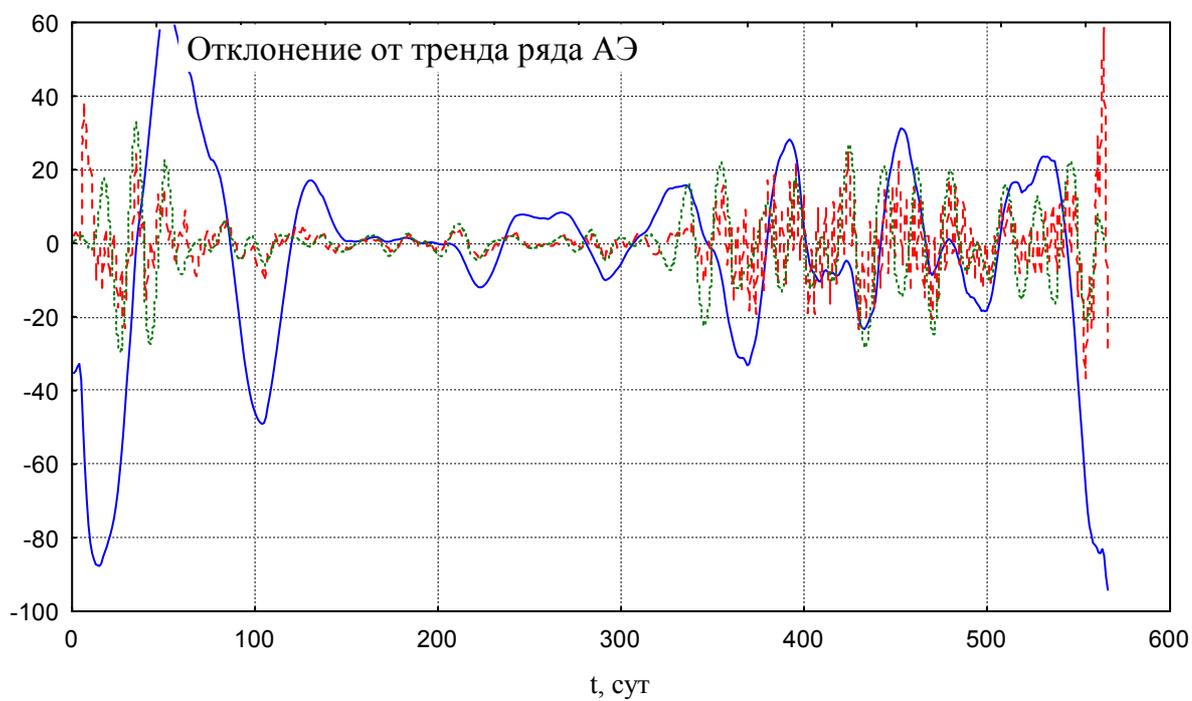
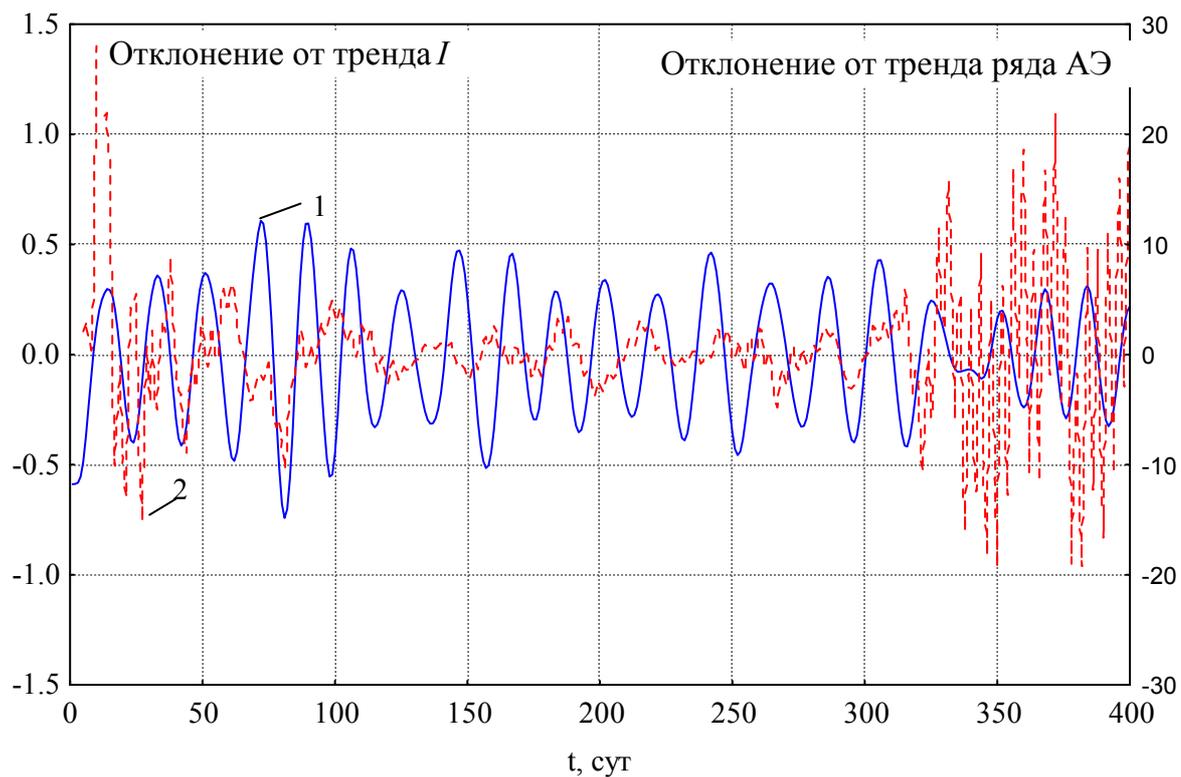
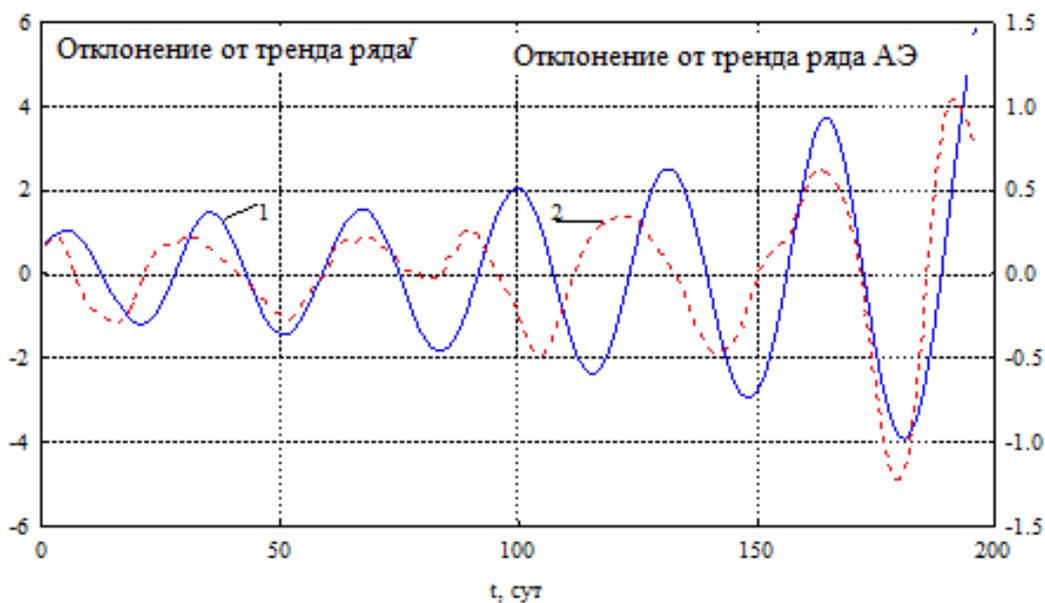


Рисунок 3.6 — Первые пять компонент разложения ряда АЭ по 28-ой лаве



1 — компонента метанообильности, 2 — компонента акустической эмиссии

Рисунок 3.7 — Компоненты разложения I и АЭ периодичностью 19–20 сут



1 — компонента метанообильности, 2 — компонента акустической эмиссии

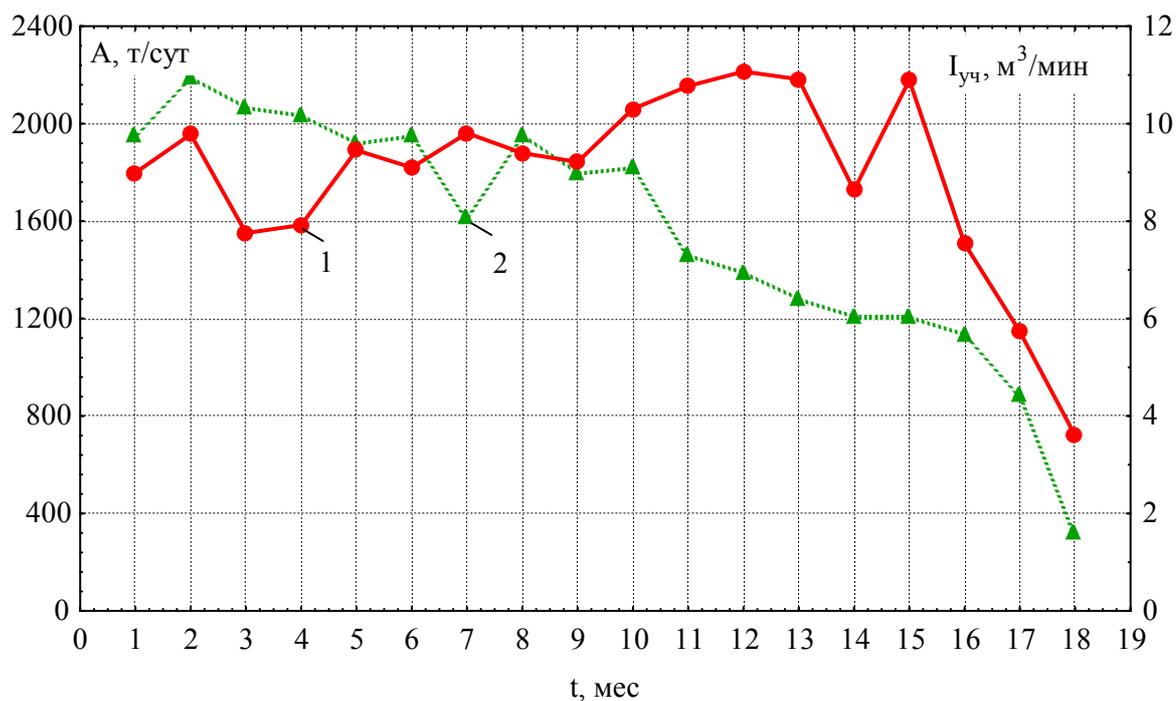
Рисунок 3.8 — Компоненты разложения I и АЭ периодичностью 28–30 сут

Анализ полученных компонент позволил сделать вывод о том, что исходный динамический ряд включает в себя трендовую, тренд-циклическую, циклические компоненты, а также случайную [61]. Это свидетельствует о том, что разрабатываемый метод прогноза I должен отражать наличие упомянутых компонент. Кроме этого, можно считать доказанным циклическое изменение величин метановыделения при изменении напряженно-деформированного состояния угленосного массива, а отсюда вытекает возможность выявления участков с пиковым нарастанием метановыделения и вероятности загазирования и остановки лав.

Подтверждение установленных синхронных колебаний I с колебаниями АЭ возможно с использованием кросс-спектрального анализа. Помимо синхронных колебаний I и АЭ следует обратить внимание и на плавное изменение трендовой составляющей динамического процесса. Она, согласно рисунку 3.3, свидетельствует о плавном увеличении метанообильности по мере подвигания лавы, что может объясняться влиянием других факторов, помимо геомеханических.

В предыдущем разделе было отмечено, что одним из основных, влияющих на I факторов является среднесуточная добыча из лавы или ее аналог среднесуточная скорость подвигания. В связи с этим была изучена взаимосвязь среднесуточных $I_{\text{ср}}$ и $A_{\text{ср}}$. Она устанавливалась по результатам корреляционного анализа фактических данных об изменении абсолютного метановыделения с изменениями $A_{\text{ср}}$ по месячным усреднениям суточных значений участковой метанообильности и угледобычи в течение 18 месяцев после первичной посадки, представленным на рисунке 3.9.

Анализ приведенных графиков показывает, что на всем протяжении времени работы лавы имеют место неоднородные участки колебаний суточной добычи и метанообильности. Поэтому для повышения достоверности обработки данных об их показателях были выделены три характерные участка после первичной посадки: участок с 1 по 10 месяц, с 13 по 18 месяц и промежуточный участок с 11 до 12 месяца. В пределах этих участков добыча колебалась соответственно от 300 до 1300 т/сут, 1300–1600 т/сут и более 1600 т/сут.



1 — метанообильность, 2 — суточная добыча

Рисунок 3.9 — Среднемесячные данные суточной метанообильности и угледобычи выемочного участка 28 орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

В результате такого деления вариационного ряда были выделены участки с высокой стабильной добычей, участок с нестабильной падающей нагрузкой и промежуточный участок со средней нагрузкой. По суточным значениям угледобычи и метановыделения для каждого месяца были установлены законы распределения и их параметры: среднее значение и среднее квадратическое отклонение (табл. 3.1).

Таблица 3.1 — Среднемесячные значения участковой метанообильности и угледобычи 28-й орловской лавы ш. «Молодогвардейская»

Номер месяца	Месяц	Количество наблюдений	$\bar{I}_{cp}, \text{ м}^3/\text{мин}$	$\sigma_I, \text{ м}^3/\text{мин}$	$A_{cp}, \text{ т/сут}$	$\sigma_A, \text{ т/сут}$
1	окт.07	31	8,99	1,37	1951	659
2	ноя.07	30	9,78	1,23	2185	569
3	дек.07	31	7,76	1,41	2066	532
4	январ.08	31	7,92	1,62	2029	418
5	фев.08	29	9,45	1,01	1920	465
6	мар.08	31	9,10	1,13	1951	405
7	апр.08	30	9,81	0,54	1615	463

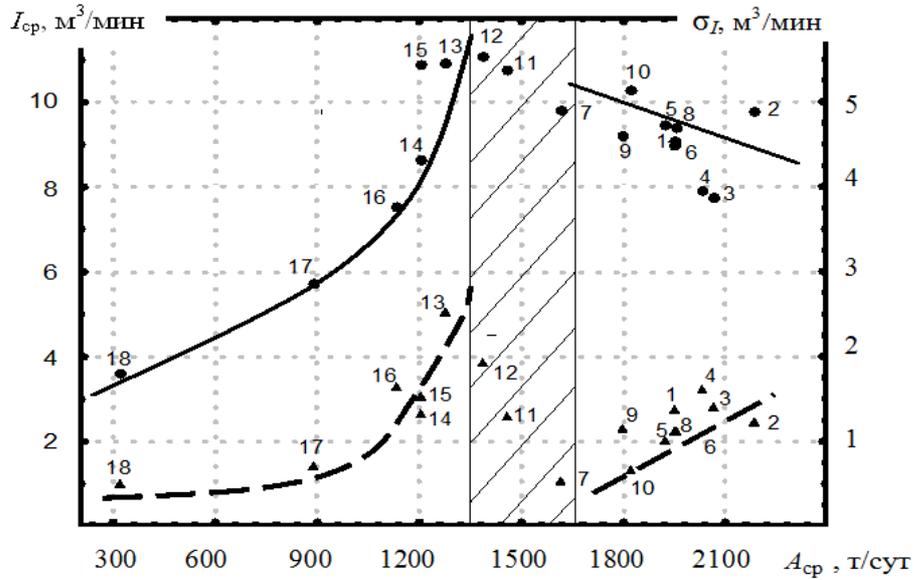
Номер месяца	Месяц	Количество наблюдений	\bar{I}_{cp} , м ³ /мин	σ_I , м ³ /мин	A_{cp} , т/сут	σ_A , т/сут
8	май.08	31	9,40	1,12	1953	470
9	июн.08	30	9,21	1,16	1798	230
10	июл.08	31	10,30	0,67	1823	347
11	авг.08	31	10,77	1,29	1457	504
12	сен.08	30	11,07	1,93	1385	480
13	окт.08	31	10,91	2,53	1276	478
14	ноя.08	30	8,64	1,32	1202	517
15	дек.08	31	10,89	1,54	1203	432
16	январ.09	31	7,54	1,65	1131	520
17	февр.09	28	5,74	0,72	888	278
18	мар.09	16	3,60	0,51	319	254

По этим значениям были построены графики изменения средних статистических показателей с увеличением A_{cp} (рис. 3.10), а также рассчитаны коэффициенты корреляции, приведенные в таблице 3.2 [75].

Похожий результат был получен по среднемесячным данным 17-ой орловской лавы, представленным на рисунке 3.11 и в таблице 3.2.

Из анализа графиков (рис. 3.10, 3.11) и коэффициентов корреляции (табл. 3.2) следует, что в диапазоне низких нагрузок наблюдается рост среднемесячных значений I_{cp} и среднеквадратических отклонений от среднемесячных значений σ_I с увеличением нагрузок A_{cp} . Эта взаимосвязь не противоречит нормативному документу [1].

При высоких же нагрузках рост значений A_{cp} ведет к уменьшению среднемесячных значений I_{cp} , на что обращалось внимание многими исследователями [30, 32–35]. Эта закономерность, как правило, объясняется влиянием изменений в напряженно-деформированном состоянии углевмещающих пород, сопровождающихся увеличением шага обрушения пород основной кровли, уплотнением массива пород, повышением концентрации напряжений.



1-18 — месяцы наблюдений после посадки основной кровли;

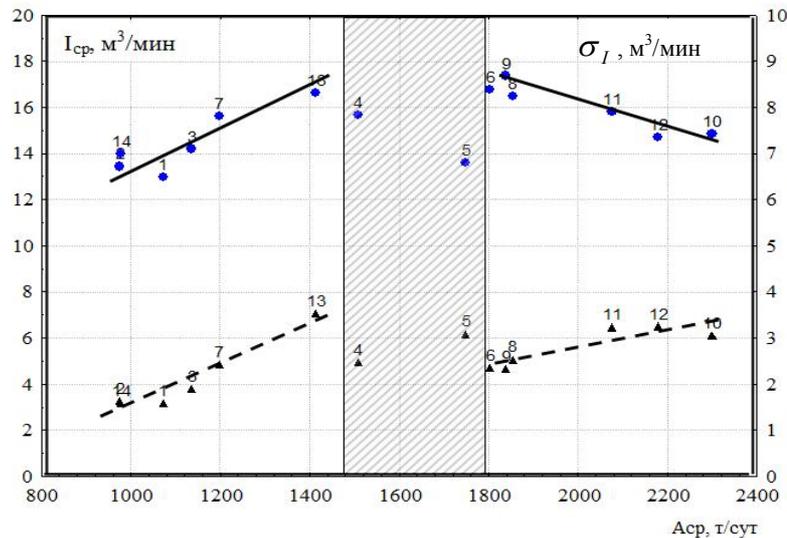
● — среднемесячные значения метановыделения I_{cp} ;

▲ — среднее квадратическое отклонение метановыделения σ_I от среднемесячного значения I_{cp} ;

— — линия, отражающая форму связи $I_{cp} = f(A_{cp})$ [табл. 3.2];

- - - линия, отражающая форму связи $\sigma_I = f(A_{cp})$ [табл. 3.2]

Рисунок 3.10 — Зависимость показателей среднемесячных значений метановыделения от угледобычи по 28 орловской лаве



1-14 — месяцы наблюдений после посадки основной кровли;

● — среднемесячные значения метановыделения I_{cp} ;

▲ — среднее квадратическое отклонение метановыделения σ_I от среднемесячного значения I_{cp} ;

— — линия, отражающая форму связи $I_{cp} = f(A_{cp})$ [табл. 3.2];

- - - линия, отражающая форму связи $\sigma_I = f(A_{cp})$ [табл. 3.2]

Рисунок 3.11 — Зависимость показателей среднемесячных значений метановыделения от угледобычи по 17 орловской лаве

Таблица 3.2 — Результаты корреляционного анализа по данным 28-ой и 17-ой орловских лав

Факторы	Нагрузки	Выемочный участок	Уравнение связи среднемесячных значений	Объем выборки	Корреляционное отношение (p -значимость)	Стандартная ошибка оценки, м ³ /мин
I_{cp} , м ³ /мин; A_{cp} , т/сут	высокие	28 орл. лава	$I_{cp} = 13,42 - 2,2 \cdot 10^{-3} A$	$n = 10$	-0,43 ($p = 0,1$)	0,76
		17 орл. лава	$I_{cp} = 25,78 - 4,9 \cdot 10^{-3} A$	$n = 6$	-0,93 ($p = 0,006$)	0,43
	низкие	28 орл. лава	$I_{cp} = 2,36 \cdot e^{1,1 \cdot 10^{-3} A}$	$n = 6$	0,90 ($p = 0,005$)	0,84
		17 орл. лава	$I_{cp} = 6,06 + 7,4 \cdot 10^{-3} A$	$n = 6$	0,88 ($p = 0,04$)	0,72
σ_I , м ³ /мин A_{cp} , т/сут	высокие	28 орл. лава	$\sigma_I = 1,90 + 1,6 \cdot 10^{-3} A$	$n = 10$	0,76 ($p = 0,01$)	0,23
		17 орл. лава	$\sigma_I = 0,91 + 1,8 \cdot 10^{-3} A$	$n = 6$	0,87 ($p = 0,02$)	0,24
	низкие	28 орл. лава	$\sigma_I = 0,27 \cdot e^{1,5 \cdot 10^{-3} A}$	$n = 6$	0,80 ($p = 0,01$)	0,22
		17 орл. лава	$\sigma_I = 2,93 + 4,5 \cdot 10^{-3} A$	$n = 6$	0,96 ($p = 0,02$)	0,24

Следует отметить, что увеличение значений угледобычи в диапазоне высоких нагрузок приводит к росту неравномерности метановыделения, которую отражает показатель σ_I . Поэтому, несмотря на уменьшение тренда среднемесячных значений нагрузки A_{cp} , в этом диапазоне возможно увеличение I_{cp} за счет роста σ_I . Для доказательства данного утверждения на рисунке 3.12 представлена зависимость расчетных максимальных значений метановыделения от угледобычи в диапазоне высоких нагрузок на очистной забой. Максимальное значение за каждый месяц рассчитывалось как сумма среднемесячного значения I_{cp} за этот месяц и утроенного отклонения $3\sigma_I$ от этого среднемесячного значения, т.е. с учетом возможных колебаний метановыделений в течение месяца.

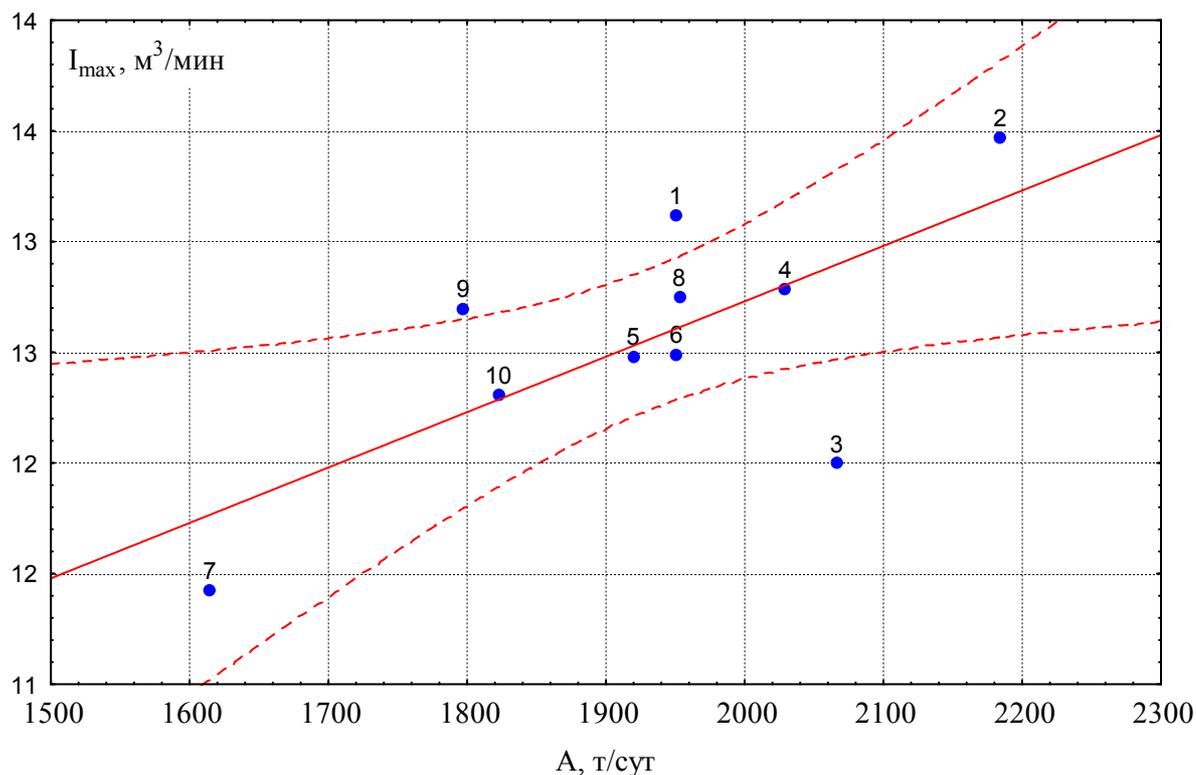


Рисунок 3.12 — Зависимость расчетных максимальных значений метанообильности от добычи в диапазоне высоких нагрузок

Полученная линейная зависимость $\bar{I}_{max} = 7,72 + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot A$, статистически значима, что подтверждается значимым коэффициентом корреляции $r = 0,69$ ($p = 0,02$) и критерием Фишера $F(1, 8) = 7,34$ ($p < 0,02$).

Следовательно, увеличение угледобычи сверх порогового значения 1500 т/сут уменьшает среднемесячное значение метановыделения с одновременным увеличением дисперсии σ_I^2 данного показателя, что в итоге приводит к росту метановыделения. Таким образом, оценку процесса метановыделения необходимо проводить с учетом как средних тенденций, так и отклонений от них.

Приведенный характер изменения I_{cp} , σ_I от A_{cp} свидетельствует о возможности изменения трендовых и случайных составляющих динамического ряда метанообильности при переходе от среднемесячных значений к среднесуточным и среднесменным. Важность этой детализации обусловлена решением технологической задачи по планированию максимально допустимого уровня угледобычи по газовому фактору.

На рисунке 3.13 приведено сравнение среднесменных значений добычи и метанообильности: 1, 2, 3 добычные и 4 ремонтные смены [73].

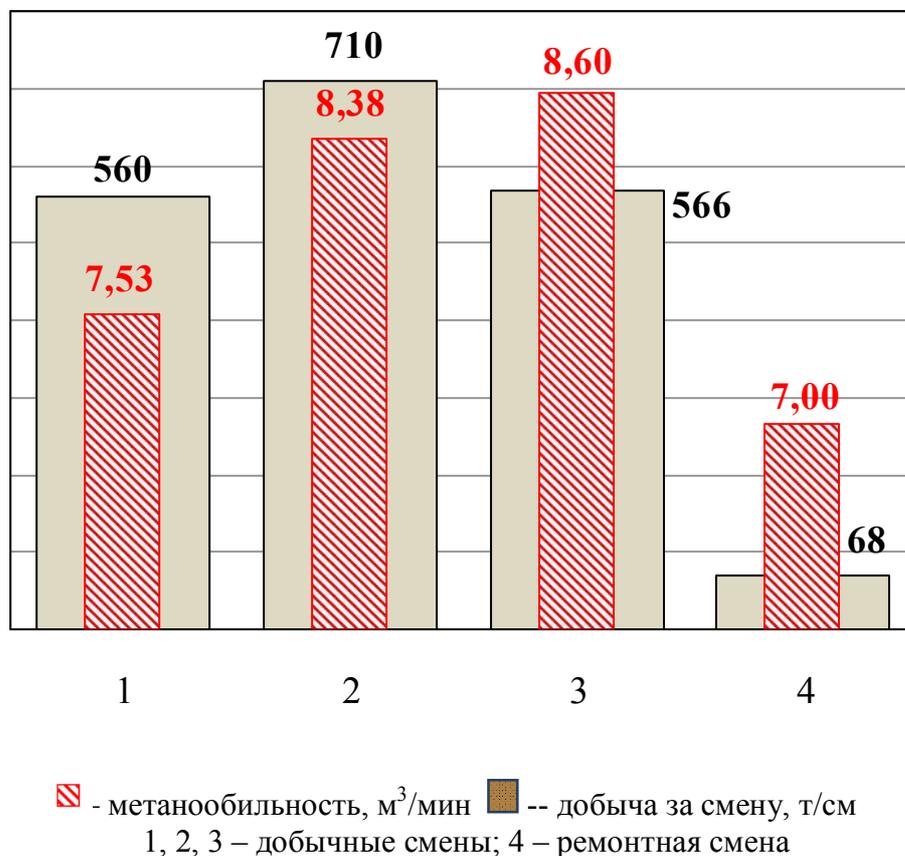


Рисунок 3.13 — Сравнение среднесменных значений добычи и метанообильности

В первую и вторую смены с увеличением нагрузки на 27 % метановыделение увеличивается на 11 %. В третью смену, несмотря на снижение нагрузки на 20 %, наблюдается незначительный рост метановыделения на 3 %. В четвертую ремонтную смену, при резком снижении нагрузки на 88 %, метановыделение уменьшается на 19 %. После перехода с ремонтной смены в первую происходит прирост нагрузки с 68 т/см до 560 т/см (в 8,2 раза), но это приводит к незначительному росту метановыделения на 8 % с 7,00 до 7,53 м³/мин.

Из приведенного анализа следует, что среднее метановыделение в 3-ю и 4-ю смены существенно отличается от трендовой, согласно которой с уменьшением A_{cp} должно пропорционально и существенно уменьшаться I_{cp} . Тенденция уменьшения наблюдается, однако с большим запаздыванием от среднесменного A_{cp} . Такое запаздывание, на наш взгляд, объясняется инерционностью геомеханических процессов. Сравнительно большая скорость выемки во вторую рабочую смену ведет к интенсивному обрушению пород кровли, под влиянием которых в последующие две смены, несмотря на снижение добычи, продолжаются повышенные деформации горного массива в зоне опорного давления и снижение газопроницаемости угольного массива.

В свою очередь, пониженные значения метановыделения обусловлены снижением его выделения в призабойной зоне угольного пласта вследствие естественной дегазации за время вынужденных простоев очистного оборудования. Отсюда следует, что на текущее значение метановыделения оказывает влияние не только добыча в данный момент, но и добыча за предшествующий период. Для прояснения этого влияния был выполнен кросс-спектральный анализ динамических рядов I и A при различных значениях нагрузки [81–83].

3.2 Идентификация факторов, влияющих на динамику метановыделения

Поскольку выше было доказано, что процесс формирования метановыделения и добычи угля в очистном забое является динамическим,

нестационарным, то для оценивания факторов, влияющих на этот процесс, был использован кросс-спектральный анализ динамических рядов [84, 85].

Для анализа динамических рядов были использованы представленные ранее данные по 28 орловской лаве ш. «Молодогвардейская». Согласно методике, изложенной в разделе 2, в течение двух месяцев был проведен хронометраж работы угольного комбайна: в конце каждого часа фиксировалось положение комбайна в лаве по номеру секции крепи, что позволило определить добычу за каждый час работы. Совмещенные по времени среднечасовые значения метановыделения из очистного забоя рассчитывались по данным автоматической газовой защиты.

Согласно [75] экспериментальные наблюдения были разделены на две группы: $A_{cp} < 1500$ т/сут и $A_{cp} \geq 1500$ т/сут. Первая группа данных (с 20.04.08 по 07.05.08) соответствовала низкому уровню нагрузок, а вторая (с 24.01.08 по 09.02.08) — высокому. Дополнительным требованием к определению высоких нагрузок является работа выемочного участка в стабильном режиме, т.е. исключаются периоды освоения проектной мощности и доработки выемочного участка, когда наблюдается затухание объемов добычи и ее существенное снижение. Следует обратить внимание и на то, что уровень высокой нагрузки и устойчивый период работы лавы взаимосвязаны. Высокие нагрузки обеспечиваются устойчивой, стабильной работой механизированного комплекса, что статистически отражается малым коэффициентом вариации. Так, в период наблюдений с высокими нагрузками среднесуточная нагрузка составила 1984 т/сут с относительно небольшим коэффициентом вариации 30,6 %, а в период низких нагрузок — 1372 т/сут с большим коэффициентом вариации 53,3 %. Группы наблюдений выбраны таким образом, чтобы максимально отличались по добыче (табл. 3.3). Среднечасовая добыча по второй группе превышает добычу по первой группе в 1,4 раза. Метановыделение при большой добыче было меньше, но значительно возрастает (в 1,5 раза) коэффициент вариации, следовательно, и коэффициент неравномерности.

Таблица 3.3 — Статистические характеристики участков почасовых наблюдений

Показатели наблюдений	Группы наблюдений с		Отношение показателей: высокая/низкая
	низким уровнем нагрузки	высоким уровнем нагрузки	
Продолжительность наблюдений, час	408	408	1
Средняя добыча, т/сут	1372	1984	1974/1372=1,4
Средний дебит метана, м ³ /мин	8,2	7,0	7,0/8,2=0,85
Коэффициент вариации метановыделения, %	14,8	22,5	22,5/18,7=1,5

Для обеспечения возможности исследования внутренней структуры рядов с помощью спектрального разложения Фурье [84] исключены тренды, обусловленные присутствием низких частот.

На рисунке 3.14 представлен результат спектрального анализа ряда высокочастотных составляющих.

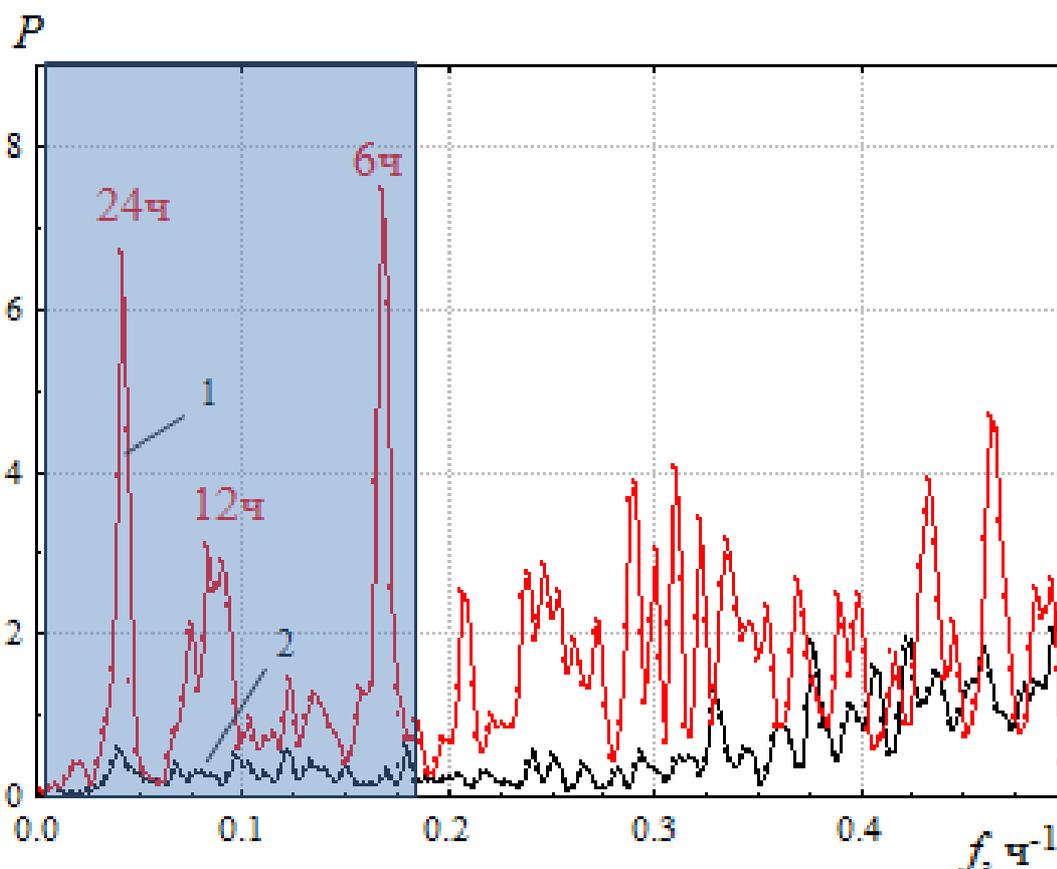


Рисунок 3.14 — Спектральная плотность P ряда метанообильности при высоких (1) и низких (2) нагрузках

На рисунке 3.14 цветом выделена полоса спектра статистически достоверных частот f с $0,01 \text{ ч}^{-1}$ до $0,17 \text{ ч}^{-1}$. Вклад выделенной полосы частот в общую дисперсию ряда метанообильности при высоких добычах составляет 31,8 %, что почти в два раза превышает вклад в дисперсию ряда метанообильности при низких добычах — 18,3 %. Пики на рисунке 3.14 свидетельствуют о наличии значимых гармоник на частотах $0,04 \text{ ч}^{-1}$, $0,08 \text{ ч}^{-1}$, $0,17 \text{ ч}^{-1}$ с периодами соответственно 24, 12 и 6 часов. Для идентификации наблюдаемых пиков проведен кросс-спектральный анализ рядов добычи и метановыделения (табл. 3.4).

Таблица 3.4 — Результаты кросс-спектрального анализа часовых наблюдений

Номер гармоник	Частота, ч^{-1}	Период, ч	Спектральная плотность			Коэффициент когерентности	Фазовые смещения, ч
			углеодо-бычи	метано-обильности	совместная		
Высокие нагрузки							
17	0,042	23,882	284594,47	6,684	966,54	0,95	-0,77
18	0,044	22,556	161344,10	4,503	547,74	0,89	-0,82
31	0,076	13,097	21354,95	2,113	127,11	0,49	0,55
34	0,084	11,941	86245,41	3,077	374,65	0,87	-0,68
36	0,089	11,278	14861,56	2,604	126,80	0,42	-0,12
37	0,091	10,973	9400,246	2,904	117,35	0,51	-0,10
38	0,094	10,684	11144,989	2,339	115,91	0,61	-0,41
50	0,123	8,120	29358,639	1,461	38,110	0,20	1,14
68	0,167	5,971	54449,195	7,471	600,68	0,89	-0,05
69	0,170	5,884	41187,716	6,086	430,34	0,75	-0,14
Низкие нагрузки							
17	0,042	23,882	88610,39	0,569	201,04	0,85	-0,23
39	0,096	10,410	10255,86	0,510	5,120	0,56	-1,48
49	0,121	8,286	33206,69	0,558	75,431	0,54	0,72
73	0,180	5,562	41971,52	0,629	111,42	0,54	-0,37

Взаимосвязь гармоник оценивается коэффициентом когерентности (аналог коэффициента корреляции). Установлено, что максимальная согласованность гармоник наблюдается в суточной периодичности метановыделения и добычи (24 часа). Высокие значения коэффициента когерентности наблюдаются также при периоде 12 и 6 часов. Отрицательные значения фазовых смещений свидетельствует об отставании гармоника метановыделения от соответствующей

гармоники добычи, что не противоречит существующим представлениям о природе физических процессов метановыделения.

Полученные результаты кросс-спектрального анализа позволили установить, что увеличение среднесуточной добычи с 1372 т/сут до 1984 т/сут привело к увеличению вклада высоких частот в общую дисперсию ряда с 18,3 до 31,4 % в 1,72 раза, а также увеличилось количество и амплитуда гармоник, связанных с организацией работ на выемочном участке по добыче.

Для исследования влияния высоких и низких уровней добычи на суточные колебания метановыделения были рассмотрены две группы наблюдений с суточным интервалом дискретизации процесса: группа с высокой добычей — с 17.10.07 по 31.03.08 и группа с низкой добычей — с 01.10.08 по 16.03.09 (табл. 3.5).

Таблица 3.5 — Статистические характеристики участков суточных наблюдений

Показатели наблюдений	Группы наблюдений с		Отношение показателей: высокая/низкая
	низкой добычей	высокой добычей	
Продолжительность наблюдений, сут	167	167	1
Средняя добыча, т/сут	1065	2024	$2024/1065=1,9$
Средний дебит метана, м ³ /мин	8,8	8,3	$8,3/8,8=0,94$
Коэффициент вариации метановыделения, %	17	35	$35/17=2,1$

На рисунке 3.15 представлено распределение частот по каждому ряду с суточным интервалом дискретизации, в отличие от рисунка 3.14 с часовым интервалом. При их анализе, в отличие от предыдущего случая, с увеличением добычи из лавы увеличивается вклад в дисперсию высокочастотной составляющей спектра.

Далее был проведен анализ согласованности значимых частот сопряженных рядов метановыделения с аналогичными частотами рядов нагрузки (табл. 3.6). Решение о наличии связи принималось, исходя из наличия сравнительно высоких значений совместной плотности гармоник и коэффициента их когерентности. Как

следует из таблицы 3.6, при низком уровне угледобычи все значимые гармоники метанообильности не согласованы с гармониками ряда нагрузки.

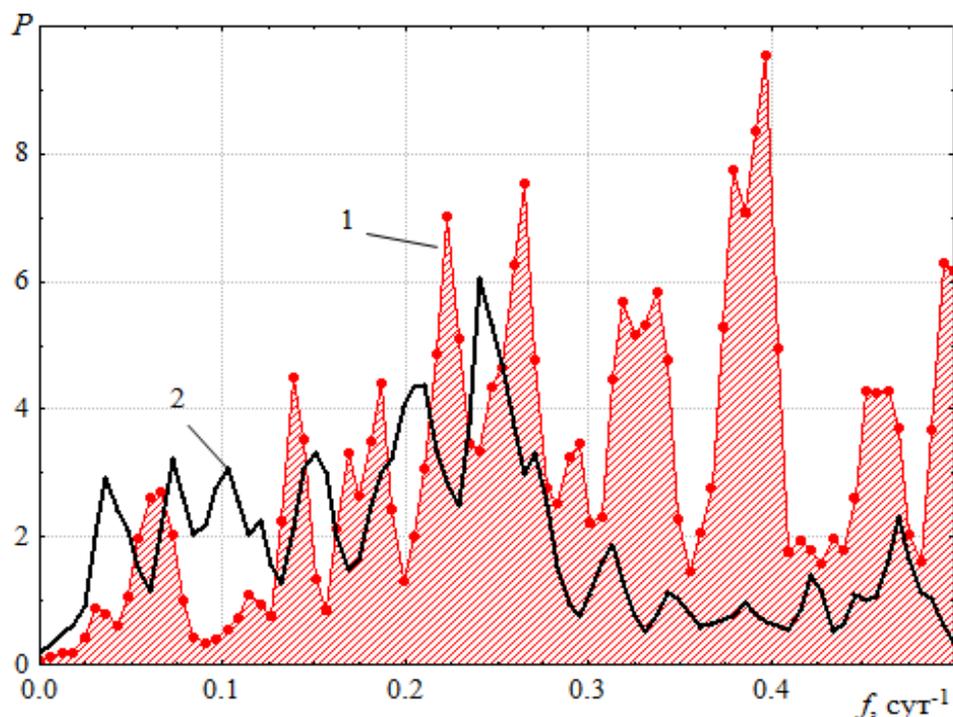


Рисунок 3.15 — Спектральная плотность P среднесуточных значений ряда метанообильности при высоких (1) и низких (2) нагрузках

При высоком уровне нагрузок проявляется связь с нагрузкой двух гармоник метановыделения - № 23 и № 53. Наибольшая согласованность 23-й гармоники с периодом, практически равным одной неделе (7,2 суток), подтверждается максимальными значениями совместной спектральной плотности и коэффициента когерентности (статистическая достоверность не ниже 95 % по критерию Стьюдента). Отсюда следует, что повышение технологической ритмичности работы выемочного участка при высоких нагрузках обуславливает возникновение соответствующих гармонических колебаний метановыделения.

Следует также обратить внимание и на то, что амплитуда низкочастотных колебаний значительно снижается с ростом A_{cp} (рис. 3.15), что свидетельствует об уменьшении метановыделения из отдаленных в кровле метаноносных слоев [86].

Таблица 3.6 — Кросс-спектральные характеристики среднесуточных наблюдений метанообильности при низких и высоких нагрузках

Номер гармоники	Частота, сут ⁻¹	Период, сут	Спектральная плотность			Коэффициент когерентности
			угледобычи	метанообильности	совместная	
Низкие нагрузки						
6	0,04	27,7	736274	2,9	421,3	0,23
12	0,07	13,8	200563	3,2	298,6	0,22
20	0,12	8,3	473099	2,3	682,5	0,44
33	0,20	5,0	178270	3,2	221,8	0,13
35	0,21	4,7	182932	4,4	107,9	0,16
40	0,24	4,2	200767	6,1	426,8	0,35
42	0,25	4,0	451471	4,7	-401,6	0,72
45	0,27	3,7	529449	3,3	-839,4	0,66
Высокие нагрузки						
23	0,14	7,2	776786	4,5	1689,0	0,88
28	0,17	5,9	458364	3,3	563,1	0,40
31	0,19	5,4	348849	4,4	607,2	0,26
37	0,22	4,5	63436	7,0	-269,9	0,31
44	0,26	3,8	361249	7,55	719,0	0,20
53	0,32	3,1	339000	5,69	906,2	0,77
63	0,38	2,6	65034	7,75	-285,9	0,39
66	0,40	2,5	432012	9,55	-549,1	0,52
75	0,45	2,2	360082	4,29	119,6	0,48
82	0,50	2,0	1352339	6,22	-467,4	0,24

На основании проведенного анализа сделано предположение, что наиболее достоверные прогнозные значения I по данным об изменении A_{cp} могут быть получены при прогнозах с суточным интервалом с корректировкой по фактическим данным за промежутки 2–3 суток.

Кросс-спектральный анализ совмещенных рядов изменения I от АЭ, результаты которого приведены в таблице 3.7 [79] и дополнительно выполнены для анализируемой 28 орловской лавы, показал, что при взаимном анализе зависимости рядов I от АЭ в 17 и 28 орловских лавах ш. «Молодогвардейская» подтверждается согласованная динамика метанообильности и активности АЭ. С увеличением АЭ происходит в среднем увеличение метанообильности.

Из таблицы 3.7 по отрицательному фазовому смещению следует вывод о запаздывании компоненты акустической эмиссии от компоненты

метанообильности на значимых частотах. Выделяются значимые синхронизированные частоты, соответствующие периоду 15–30 сут.

Таблица 3.7 — Результаты кросс-анализа рядов динамики метанообильности и активности акустической эмиссии

Частота, сут ⁻¹	Период, сут	Спектральная плотность			Коэффициент когерентности	Фазовые смещения, сут
		АЭ	метанообильности	совместная		
<i>17-я орловская лава</i>						
0,029	34,7	284594,476	6,684	966,548	0,79	-2,85
0,027	37,4	54449,195	7,471	600,675	0,72	-2,75
0,015	65,3	161344,107	4,503	547,740	0,68	-3,35
<i>28-я орловская лава</i>						
0,066	15,2	64229,195	6,471	596,675	0,65	-2,88
0,048	21,0	284594,476	6,684	889,548	0,80	-2,48
0,032	31,4	161344,107	4,603	522,730	0,63	-2,92

Приведенные результаты спектрального анализа свидетельствуют о геомеханической природе низкочастотных циклических компонент метановыделения, которая объясняется влиянием периодических изменений напряженно-деформированного состояния массива горных пород, и, как следствие, разгрузкой источников метановыделения из подрабатываемого массива [86].

Следует также отметить, что в процессе анализа были выявлены компоненты ряда метанообильности и АЭ по 17 и 28 орловским лавам, изменяющиеся с периодичностью 15–30 суток, с задержкой около 3 суток, т.е. в среднем локальные максимумы метанообильности запаздывают по отношению к локальным максимумам АЭ на трое суток. Отсюда следует, что с началом роста АЭ с запаздыванием будет увеличиваться и I .

Подводя итог выполненным исследованиям по спектральному и кросс-спектральному анализу, следует отметить, что доминирующим фактором, оказывающим влияние на динамику метановыделения, является суточная добыча или ее аналог — скорость подвигания очистного забоя. С ее ростом увеличивается вклад колебаний A_{cp} в колебания I . Помимо этого, доказано, что в результате разложения исходного динамического ряда I и АЭ на компоненты выявлена

компонента, показывающая, что с ростом АЭ через трое суток может наблюдаться рост I . Отмеченные обстоятельства должны найти свое отражение в построении прогнозной модели с учетом информации за предшествующие периоды (2–3 суток).

3.3 Математическая модель зависимости метановыделения от суточной угледобычи

Ранее отмечалось, что динамический ряд метановыделения в очистном забое является нестационарным и что для его надежного описания необходимо внесение корректировки в модель с учетом изменения фактических данных о прогнозируемых показателях.

Было также доказано, что наиболее полно указанным условиям отвечает модель с распределенным лагом. Общий математический подход к построению такой модели был рассмотрен в разделе 2. Поэтому, не останавливаясь на описании теории данного метода, перейдем к рассмотрению алгоритма построения модели прогноза. При этом прежде всего в качестве управляемого фактора в модели выбрана суточная добыча, которая, как было показано ранее, является доминирующим фактором, определяющим наибольшую вариацию метановыделения в лаве.

Алгоритм построения модели предусматривает выполнение нескольких этапов.

1) Подготовка базы исходных фактических данных для прогнозирования.

По методике, изложенной в разделе 2, в течение 30 суток определяются фактические данные (база прогноза):

- среднечасовые значения метанообильности очистного забоя I_i ($i = 1 \dots 24$), м³/мин;
- среднесуточные значения метанообильности очистного забоя, I_t ($t = 1 \dots 30$), м³/мин;

– среднее квадратическое отклонение среднечасовых значений метанообильности в течение суток σ_t ($t=1...30$), м³/мин;

– суточная нагрузка A_t , т/сут.

2) Выполняется кросс-корреляционный анализ суточных рядов метановыделения I_t и нагрузки A_t .

Если кросс-корреляционная функция рядов метанообильности и нагрузки имеет значимые коэффициенты корреляции на текущих (Lag=0) и прошлых сутках (Lag=-1, Lag=-2, Lag=-3, ... Lag=-p), то переходим к построению прогнозной адаптивной модели.

3) Построение адаптивной прогнозной модели среднесуточной метанообильности. С использованием алгоритма Алмон определяем оценки коэффициентов $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ статистической модели с распределенным лагом (значимость коэффициентов и надежность уравнения проверяется по статистическим тестам):

$$I_t = \alpha_0 A_t + \alpha_1 A_{t-1} + \alpha_2 A_{t-2} + \dots + \alpha_p A_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

где A_t — добыча в текущие сутки;

$A_{t-1}, A_{t-2}, \dots, A_{t-p}$ — добыча в предшествующие p суток;

После определения значимых коэффициентов $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ для каждого фактического значения $I_{t, \text{факт}}$ по уравнению (3.1) рассчитываем $I_{t, \text{расч}}$ и затем вычисляем ошибку прогноза ε_t :

$$\varepsilon_t = I_{t, \text{факт}} - I_{t, \text{расч}} \quad (3.2)$$

Расчетное уравнение поправок для адаптации модели (3.3) устанавливается с помощью модели ARIMA (0,0,1), которая имеет общий вид:

$$\varepsilon_t = \varphi \varepsilon_{t-1}, \quad (3.3)$$

где ε_{t-1} — ошибка прогноза I в предыдущие $(t-1)$ сутки, рассчитанная по (3.4);

φ — эмпирический коэффициент.

Общий вид прогнозной адаптивной модели среднесуточного значения метанообильности имеет вид:

$$I_t = \alpha_0 A_t + \alpha_1 A_{t-1} + \alpha_2 A_{t-2} + \dots + \alpha_p A_{t-p} + \varphi \varepsilon_{t-1} \quad (3.4)$$

С использованием разработанного алгоритма была построена модель для 28 орловской лавы ш. «Молодогвардейская». Для моделирования выбран участок стабильной работы очистного забоя после первичной посадки. Исходными данными для построения модели являлись непрерывные наблюдения за динамикой среднечасовых усреднений метанообильности I_i ($i=1...24$), м³/мин, рассчитанной по данным о концентрации и дебите воздуха, и объем часовой добычи A_i ($i=1...24$), т/час с 21.12.08 по 21.01.08. Мониторинг данных проводился согласно методике, изложенной в разделе 2. Объем выборки составил $n = 722$ час = 30 сут (Приложение А).

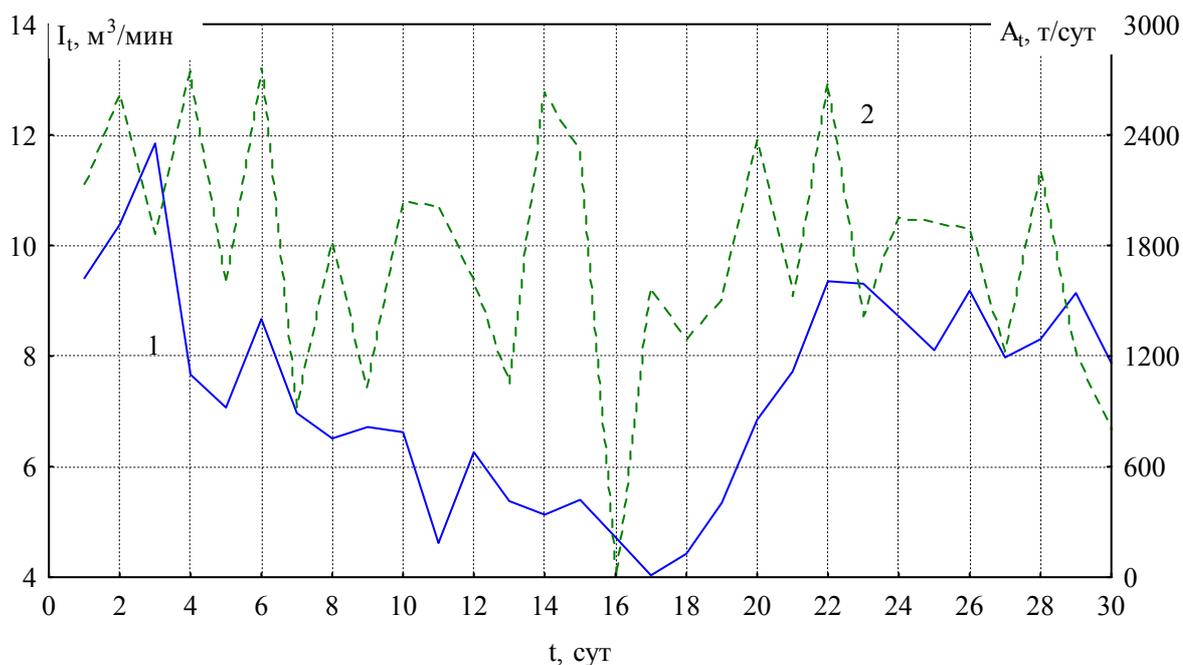
Результаты мониторинга вводятся в ПК в качестве исходной информационной базы для осуществления дальнейшего моделирования.

Основные статистические характеристики наблюдаемых показателей приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Основные статистические характеристики временных рядов

Ряд	Количество наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	СКО
A_i , т/час	722	73	0	614	124
I_i , м ³ /мин	722	7,3	3,0	19,2	2,3
A_t , т/сут	30	1758	0	2761	655
I_t , м ³ /мин	30	7,3	4,0	11,8	1,9

Для построения модели по наблюдаемым часовым данным вычисляем среднесуточные значения I_t , м³/мин ($t=1...30$) и суммарную суточную добычу A_t , т/сут ($t=1...30$). На рисунке 3.16 представлены среднесуточные данные наблюдений за метанообильностью и добычей в очистном забое. Статистические характеристики этих данных приведены в таблице 3.8.



1 — ряд метанообильности, 2 — ряд добычи

Рисунок 3.16 — Динамика суточных рядов метанообильности и добычи

Необходимым условием построения адекватных моделей является нормальный закон распределения прогнозируемых показателей. Проверка соответствия распределения I_t и A_t нормальному закону проведена по критерию χ^2 -Пирсона. Графики эмпирического и теоретического распределения представлены на рисунках 3.17 и 3.18.

Законы распределения рядов I_t и A_t близки к нормальному согласно критерию χ^2 -Пирсона (наблюдаемое значение критерия $\chi^2_{\text{набл}} = 0,68$ для метанообильности и $\chi^2_{\text{набл}} = 0,25$ для угледобычи, что значительно меньше критического значения $\chi^2_{\text{кр}}(0,05; 3) = 7,8$).

Следует также отметить, что для ряда добычи наблюдается левосторонняя асимметрия (коэффициент асимметрии равен $-0,46$), т.е. в распределении преобладают добычи больше средней, что подтверждает правильность выбранного для построения прогнозной модели диапазона больших нагрузок на очистной забой.

Variable: It, Distribution: Normal
 Chi-Square test = 0.68375, df = 1 (adjusted) , p = 0.40830

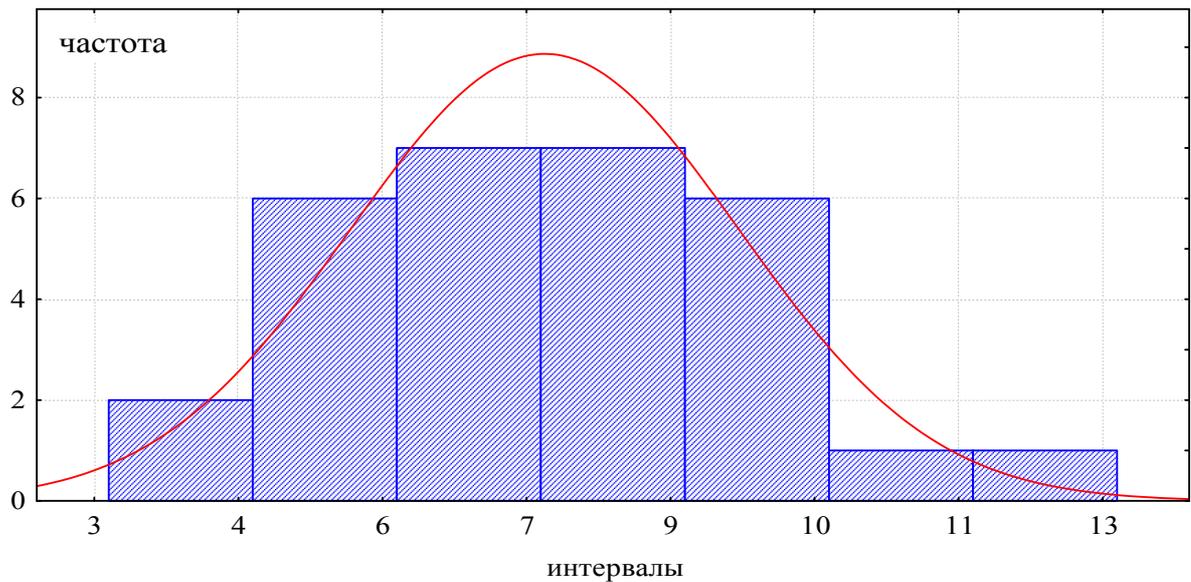


Рисунок 3.17 — Закон распределения суточного ряда метанообильности

Variable: At, Distribution: Normal
 Chi-Square test = 0.25320, df = 1 (adjusted) , p = 0.61483

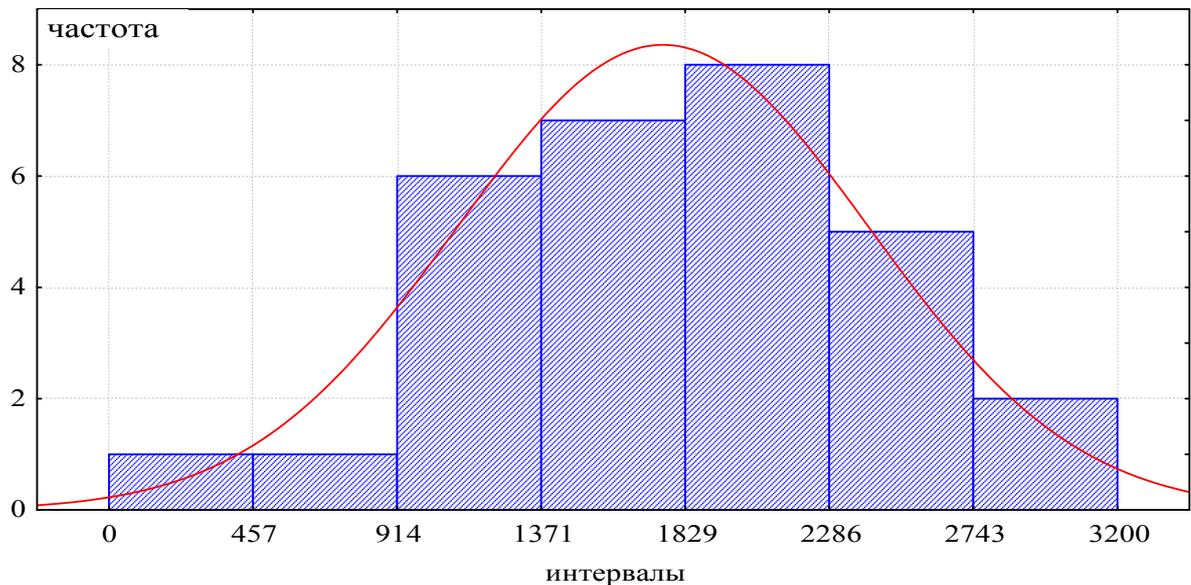


Рисунок 3.18 — Закон распределения ряда суточной добычи

Для проверки стационарности рядов используем автокорреляционную функцию (рис. 3.19, 3.20). На графиках АКФ слева указаны коэффициенты корреляции (Corr) и стандартные ошибки белого шума (S. E.) для каждого сдвига (Lag). Величина сдвига (лага) составляет одни сутки.

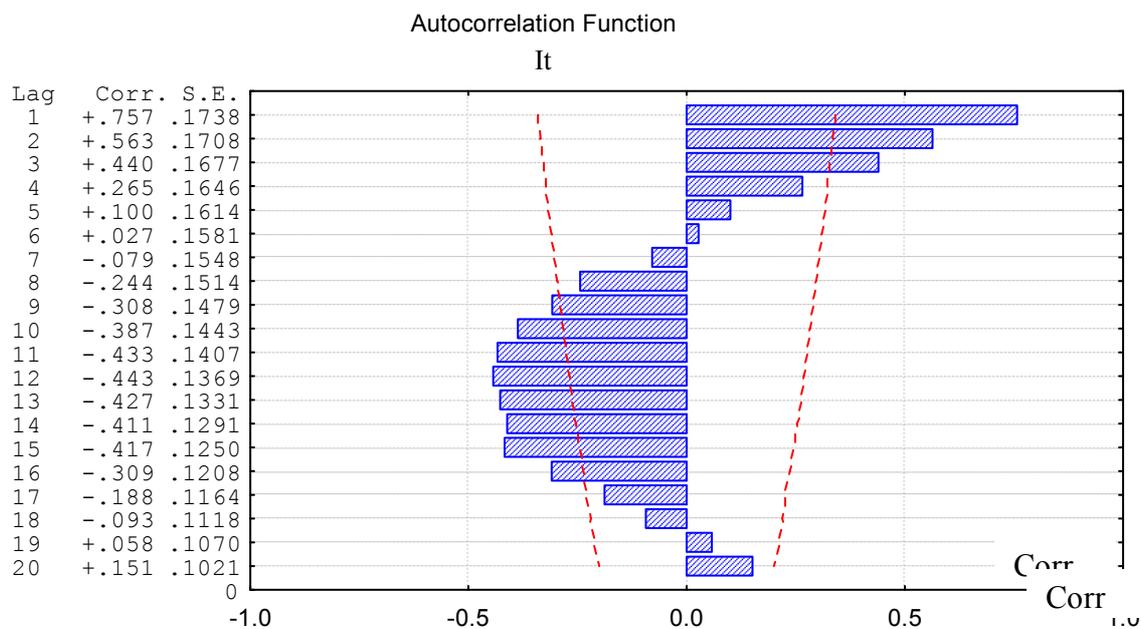


Рисунок 3.19 — Автокорреляционная функция суточного ряда метанообильности

Визуальный анализ автокорреляционных функций показывает, что ряд метанообильности имеет тренд, т.е. является нестационарным. Следует отметить, первые три значимых лага ряда I_t , что свидетельствует о том, что текущее значение среднесуточной метанообильности определяется уровнем предыдущих ее значений, как минимум за двое предшествующих суток.

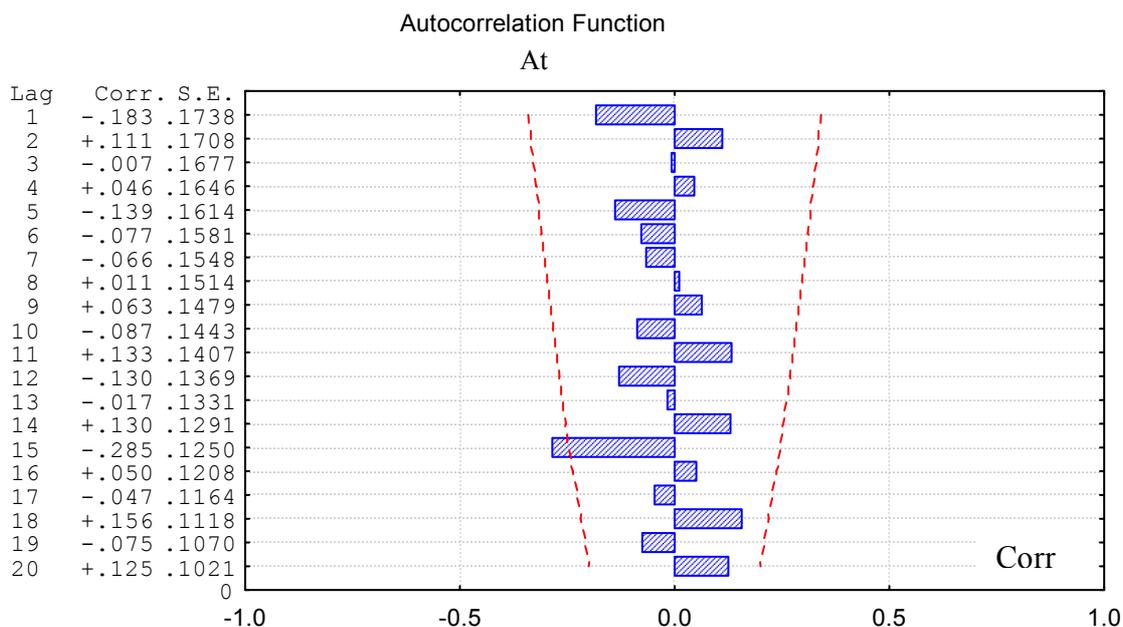


Рисунок 3.20 — Автокорреляционная функция ряда добычи

В отличие от ряда метанообильности, ряд добычи стационарный в течение рассматриваемых 30-ти суток, т.е. добыча на этом интервале времени стабильная.

Кросс-корреляционная функция сопряженных рядов I_t и A_t (рис. 3.21) имеет значимые коэффициенты корреляции на нулевом лаге (Lag=0) и двух предшествующих лагах (Lag=-1 и Lag=-2). Следовательно, на прогнозируемое значение метанообильности в момент времени t оказывает влияние добыча в моменты времени $(t-1)$ и $(t-2)$, т.е. на значение метанообильности в прогнозируемые сутки оказывает влияние не только планируемая добыча в эти сутки, но и объем добытого угля в предшествующие двое суток. Этот результат согласуется с проведенными выше исследованиями.

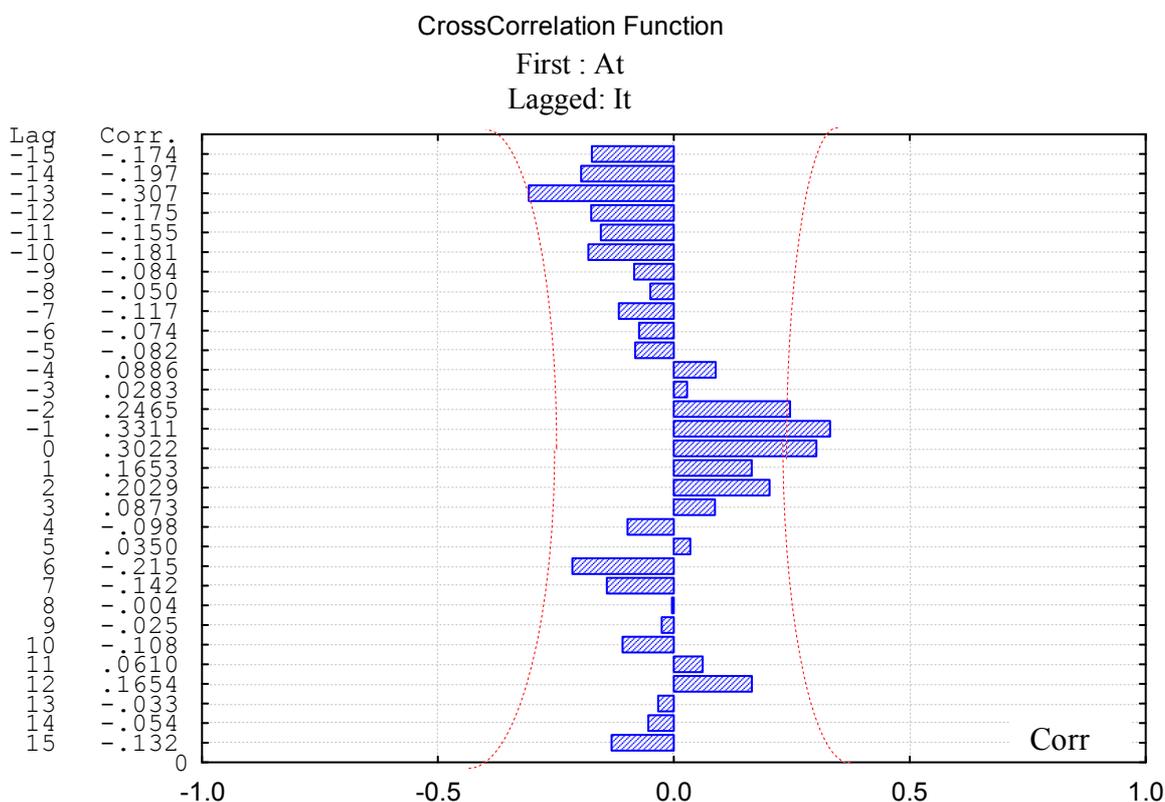


Рисунок 3.21 — Кросс-корреляционная функция рядов метанообильности и добычи

Проведенный анализ позволил обосновать общий вид модели с распределенным лагом для прогноза текущих среднесуточных значений метанообильности в зависимости от добычи [89, 90]

$$I_t = \alpha_0 A_t + \alpha_1 A_{t-1} + \alpha_2 A_{t-2} + \varepsilon_t \quad (3.5)$$

где A_t — добыча в текущие сутки;

A_{t-1} , A_{t-2} — добыча в предшествующие двое суток.

Для оценки параметров α_0 , α_1 , α_2 используем специальную процедуру — метод Алмон [78], который требует представление лагов через их структуру, что означает установление силы влияния и формы связи между метанообильностью и добычей в текущие и предшествующие двое суток.

Установление тесноты и формы связи между I_t и A_t , I_t и A_{t-1} , I_t и A_{t-2} осуществляем с помощью корреляционного и регрессионного анализа, результаты которого представлены в таблице 3.9 и на рисунках 3.22–3.24.

Таблица 3.9 – Корреляционная матрица рядов I_t , A_t , A_{t-1} , A_{t-2}

Ряд	I_t	A_t	A_{t-1}	A_{t-2}
I_t	1	0,30	0,35	0,29
A_t	0,30	1	-0,23	0,13
A_{t-1}	0,35	-0,23	1	-0,25
A_{t-2}	0,29	0,13	-0,25	1

Коэффициенты корреляции значимы при уровне значимости 0,1. Обращает внимание, что больший коэффициент корреляции соответствует A_{t-1} , т.е. на метанообильность в текущие сутки большее влияние оказывает метанообильность в прошлые сутки.

Следует также отметить связь между значениями добычи A_t , A_{t-1} , A_{t-2} , что приводит к необходимости решения проблемы взаимной коллинеарности факторов с помощью рассматриваемого алгоритма Алмон.

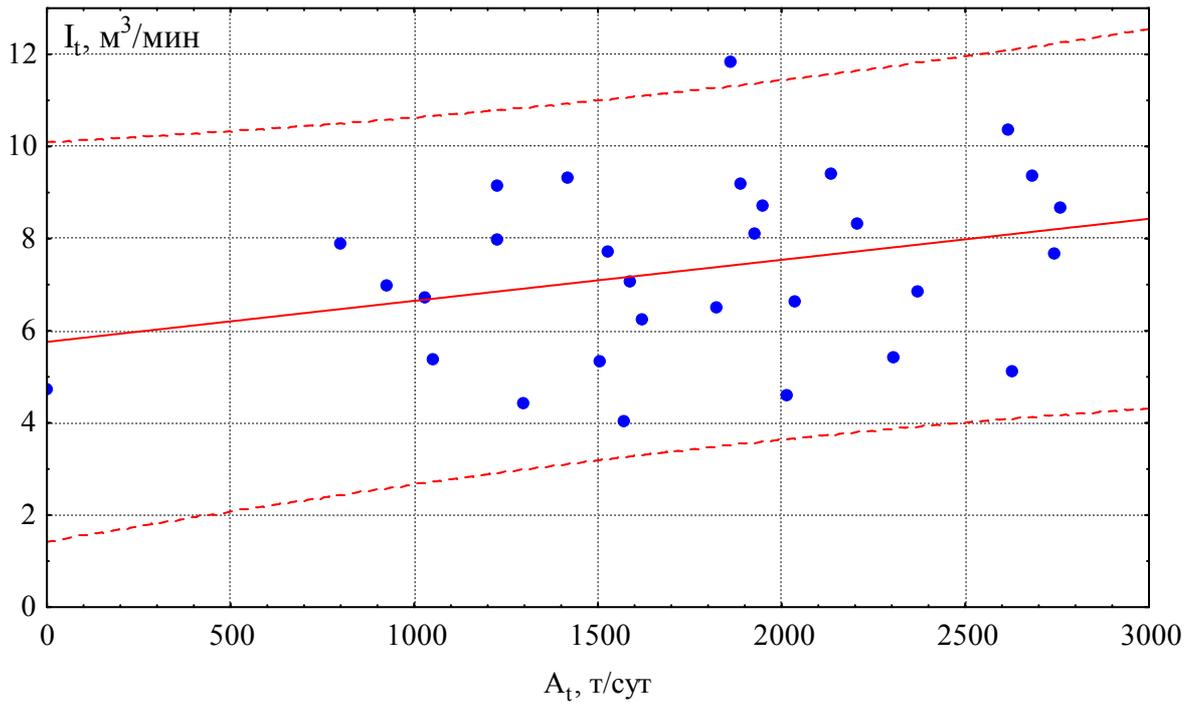


Рисунок 3.22 — Взаимосвязь метанообильности I_t и добычи A_t

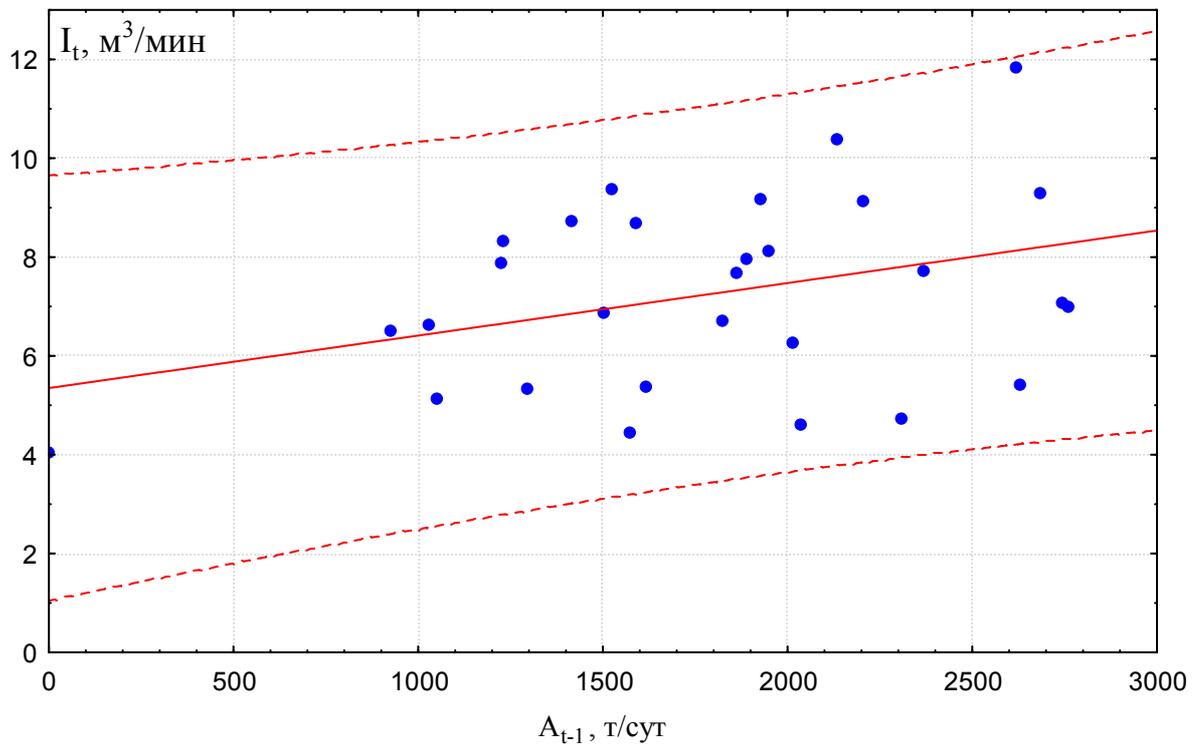


Рисунок 3.23 — Взаимосвязь метанообильности I_t и добычи A_{t-1}

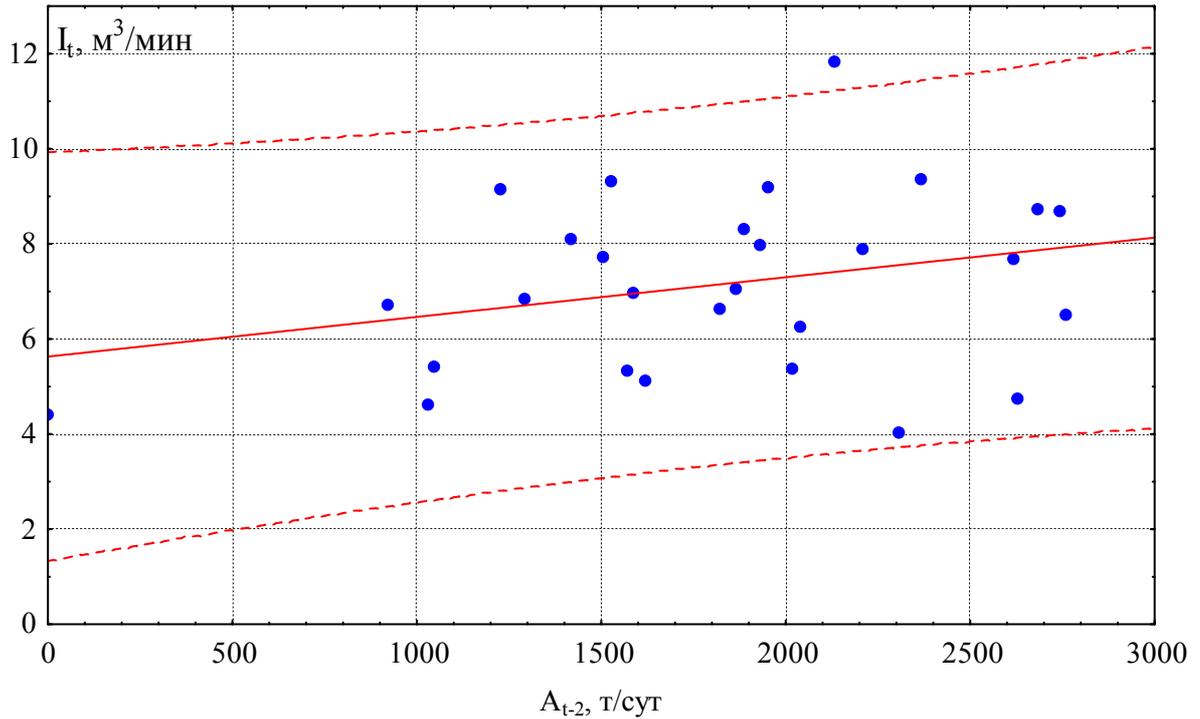


Рисунок 3.24 — Взаимосвязь метанообильности I_t и добычи A_{t-2}

Проведенный регрессионный анализ показал, что линейная форма связи между метанообильностью и влияющими факторами A_t , A_{t-1} , A_{t-2} вполне приемлема, следовательно, принимаем линейную структуру лага:

$$\alpha_j = \beta_0 + \beta_1 \cdot j, \text{ где } j = 0,1,2. \quad (3.6)$$

Подставляя в модель (3.5), получим преобразованный вид:

$$\begin{aligned} I_t &= \beta_0 A_t + (\beta_0 + \beta_1) A_{t-1} + (\beta_0 + 2\beta_1) A_{t-2} + \varepsilon_t = \\ &= \beta_0 (A_t + A_{t-1} + A_{t-2}) + \beta_1 (A_{t-1} + 2A_{t-2}) + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (3.7)$$

Обозначим: $z_0 = A_t + A_{t-1} + A_{t-2}$, $z_1 = A_{t-1} + A_{t-2}$, тогда уравнение (3.7) примет вид:

$$I_t = \beta_0 z_0 + \beta_1 z_1 + \varepsilon_t. \quad (3.8)$$

Значения параметров β_0 и β_1 находятся стандартным методом наименьших квадратов. Оценки искоемых параметров $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$, найденные с помощью пакета прикладных программ Statistica 6.0, представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 — Оценки коэффициентов модели и их значимость

Lag	Коэффициенты	Стандартные ошибки	Критерий Стьюдента	Значимость
	Regressn. Coeff.	Standard Error	t(25)	p
0	0,0010169	0,0004001	2,5417305	0,0176075
1	0,0016912	0,0003336	5,0695537	0,0000311
2	0,0012982	0,0003893	3,3351116	0,0026634

Таким образом, модель взаимосвязи среднесуточных значений метанообильности и добычи имеет вид:

$$I_t = 1,02 \cdot 10^{-3} A_t + 1,69 \cdot 10^{-3} A_{t-1} + 1,30 \cdot 10^{-3} A_{t-2} + \varepsilon_t \quad (3.9)$$

Из таблицы 3.9 следует, что коэффициенты модели значимы ($p < 0.05$) и устойчивы, т.к. коэффициенты по меньшей мере в два раз превышают свои стандартные ошибки.

Информационная способность и правомерность использования уравнения подтверждается коэффициентом детерминации $r^2 = 0,59$ (коэффициент корреляции $r = 0,77$ значим по критерию Стьюдента $|T_{\text{набл}}| = 6,03 < T_{\text{кр}}(0,05; 25) = 2,1$) и критерием Фишера $F_{\text{набл}} = 12,2, p < 0.05$ (табл. 3.11).

Таблица 3.11 — Анализ дисперсий ANOVA

Источник изменчивости	Сумма квадратов отклонений SS	Степени свободы <i>df</i>	Средний квадрат MS	Статистика <i>F</i>	Значимость <i>p</i>
Обусловлено регрессией(Regress.)	41,76876	3	13,92292	12,22522	0,00125
Остаточная (Residual)	28,47171	25	1,138868		
Общая (Total)	70,24047				

Из проведенного анализа следует, что вариация добычи в течение трех последовательных суток объясняет 60 % вариации метанообильности в данных условиях.

Все положительные коэффициенты в модели имеют физический смысл: воздействие по сути одного и того же фактора на результат однонаправлено, независимо, с каким временным лагом измеряется сила и теснота связи между этими показателями.

Анализ коэффициентов модели показывает, что увеличение добычи на 100 т/сут приведет через двое суток к росту метанообильности в среднем на $0,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($1,02 \cdot 10^{-3} + 1,69 \cdot 10^{-3} + 1,30 \cdot 10^{-3} = 4,01 \cdot 10^{-3}$). Наибольшее влияние на текущее значение метанообильности оказывает добыча в предшествующие сутки A_{t-1} — 43 %. Влияние добычи на метанообильность реализуется в текущие сутки на 25 %, в позапрошлые сутки на 32 %. Средний лаг модели составляет $\bar{p} = 0,25 \cdot 0 + 0,43 \cdot 1 + 0,32 \cdot 2 = 1,07$, т.е. в среднем увеличение добычи приводит к росту метанообильности через 1,07 суток.

Как указано выше, для анализируемой базы прогноза вариация суточной добычи определяет только 60 % вариации среднесуточной метанообильности, остальные 40 % приходятся на другие факторы. Так как статистика Дарбина-Уотсона ($d_{\text{набл}} = 0,81 < d_L(0,05; 28; 3) = 1,18$) показала наличие положительной автокорреляции в остатках, то это означает неслучайную природу ошибок модели $\{\varepsilon_t\}$.

На рисунке 3.25 представлена зависимость ряда ошибок модели $\{\varepsilon_t\}$ от прогнозируемого показателя I_t . С ростом метанообильности ошибки $\{\varepsilon_t\}$ также растут, это отражается в нестационарном поведении ряда, которое формируется под влиянием факторов, неучтенных в явном виде в модели (3.9), в том числе имеющих циклическую природу, обусловленную изменениями в напряженно-деформированном состоянии углевмещающих пород. Для адекватного прогноза необходимо, чтобы модель реагировала на изменение этих факторов. Такое

решение возможно с помощью использования корректирующей адаптационной поправки.

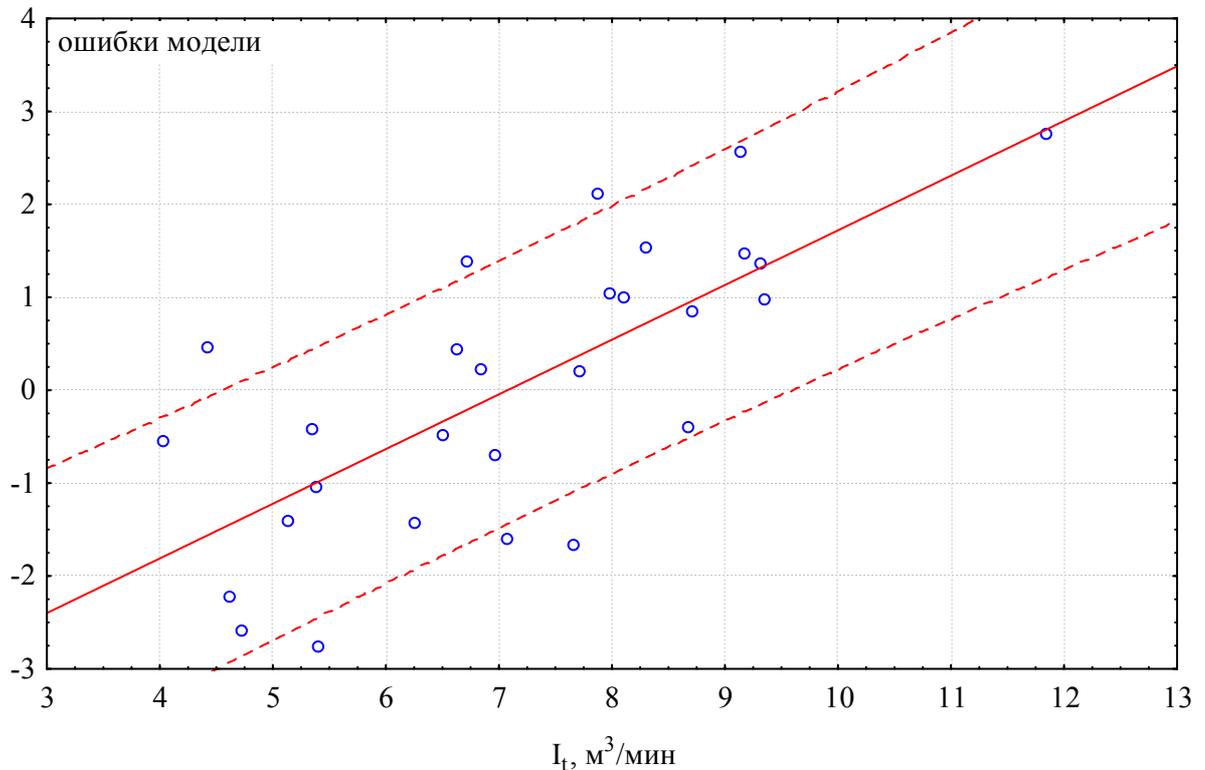


Рисунок 3.25 — Зависимость ошибок модели от метанообильности

Процесс метановыделения протекает в изменяющихся условиях, составляющих его внешнюю среду. А прогнозная модель в свою очередь должна адаптироваться к ряду, представляющему этот процесс. В этом случае адаптационная модель нестационарного ряда всегда будет подстраиваться под изменяющиеся условия.

Последовательность процесса адаптации состоит в следующем [87]. В момент времени t модель находится в некотором исходном состоянии, т.е. определены текущие значения коэффициентов модели и по ней осуществляется прогноз. По истечении одной единицы времени (сутки) анализируется отклонение результата, полученного по модели, от фактического значения ряда, зафиксированного в прогнозные сутки. Ошибка прогнозирования поступает на вход системы и используется моделью в соответствии с ее логикой для перехода из одного состояния в другое с целью большего согласования с динамикой ряда.

На изменение ряда модель отвечает компенсирующими изменениями. Затем делается прогноз на следующий момент времени, и весь процесс повторяется. Таким образом, адаптация осуществляется рекуррентно с получением каждой новой фактической точки временного ряда.

Для моделирования адаптационной корректировки используем авторегрессию скользящего среднего (ARMA), которая представляет собой линейную комбинацию текущих и прошлых значений случайных возмущений [63]. Эта модель способна оперативно реагировать на изменение условий путем учета результата прогноза, сделанного на предыдущем шаге, и учета различной информационной ценности уровней ряда. Информационная ценность последних наблюдений в ряде метанообильности значительно выше, чем более ранних, что подтверждается видом АКФ (рис. 3.19).

После представления детерминированной составляющей процесса с помощью модели с распределенным лагом ряд $\{\varepsilon_i\}$ близок к стационарному, что следует из вида его АКФ (рис. 3.26), а, следовательно, может быть промоделирован авторегрессией первого порядка AR(1).

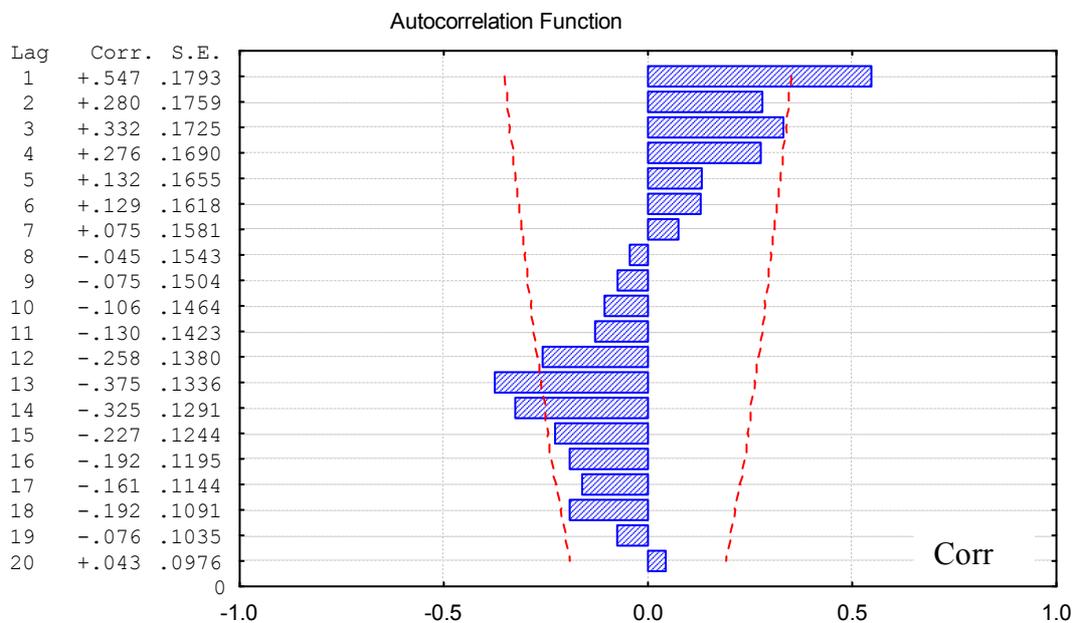


Рисунок 3.26 — Автокорреляционная функция ошибок $\{\varepsilon_i\}$

Выбор этой модели обусловлен тем, что она представляет собой бесконечную сумму ошибок определения ε_t , т.е. процесс скользящего среднего, что по теореме Волда соответствует представлению слабостационарного процесса. Модель авторегрессии первого порядка AR(1) имеет вид [88]

$$\varepsilon_t = \varphi \varepsilon_{t-1} + e_t, \quad (3.10)$$

где $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}$ — уровни ряда ошибок модели (3.14) соответственно в моменты времени $t, t-1$;

φ — оцениваемый коэффициент модели;

e_t — случайные возмущения, некоррелируемые с ε_t .

Оценка коэффициента φ и его значимость (табл. 3.12) получена в Statistica 6.0.

Таблица 3.12 — Оценка параметра авторегрессии первого порядка

Параметры	Коэффициент (Param.)	Стандартные ошибки (Std.Err)	Критерий Стьюдента t(26)	Значимость p
p(1)	0,807435	0,329860	2,447809	0,021435

С учетом корректирующей поправки модель (3.9) будет иметь вид [55]:

$$I_t = 1,02 \cdot 10^{-3} A_t + 1,69 \cdot 10^{-3} A_{t-1} + 1,30 \cdot 10^{-3} A_{t-2} + 0,81 \varepsilon_{t-1} + e_t \quad (3.11)$$

Остатки модели (3.11) $\{e_t\}$ близки к случайными, что подтверждает вид АКФ практически в пределах белого шума (рис. 3.27) и критерий Дарбина-Уотсона ($d_{\text{набл}} = 2,77$ в зоне неопределенности).

Модель (3.11) позволяет осуществлять прогноз среднего за сутки значения метанообильности в зависимости от планируемой добычи в текущие сутки, добычи в прошлые и позапрошлые сутки. При этом слагаемое $0,81 \varepsilon_{t-1}$ является корректирующей поправкой, учитывающей изменение факторов, явно не учтенных в модели (всех других, кроме добычи). Внесение поправки в уравнение повышает коэффициент детерминации до 84 %, т.е. модель (3.11) объясняет 84 % средней вариации метанообильности в течение суток.

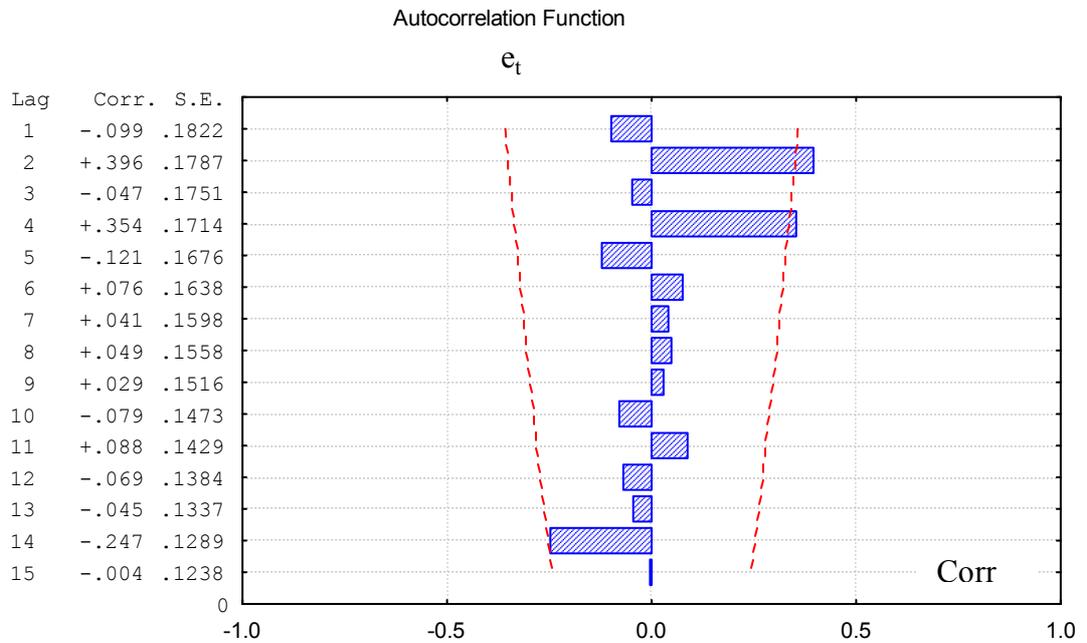


Рисунок 3.27 — Автокорреляционная функция остатков $\{e_t\}$

Результаты оценки точности разработанной модели (3.11) представлены в таблице 3.13. Показатели точности рассчитаны на двух выборках: по расчетной базе (ретроспективный прогноз с 21.12.07 по 21.01.08) и на прогнозном периоде (период упреждения прогноза с 22.01.08 по 10.02.08).

Таблица 3.13 — Оценки точности модели (3.11)

Показатели точности	Ретроспективный прогноз	Прогнозный период
Горизонт прогноза, сут	28	20
Средняя относительная ошибка аппроксимации, %	15	10
Стандартная ошибка, м ³ /мин	1,38	1,26

Относительная ошибка аппроксимации не превышает 20 %, что означает приемлемую точность прогноза. Уменьшение относительной и стандартной ошибки на прогнозном периоде объясняется уменьшением колебаний добычи (коэффициент вариации добычи уменьшился с $k_A = 37$ % до $k_A = 30$ %), и вызванным этим уменьшением вариации метанообильности (коэффициент вариации метанообильности уменьшился с $k_I = 26$ % до $k_I = 10$ %), которое успешно компенсировалось корректирующей поправкой модели (3.11).

Для верификации прогноза был выбран период с 22.01.08 по 10.02.08 продолжительностью 20 сут. В таблице 3.14 и на рисунке 3.28 представлен ряд интервальных прогнозных значений метанообильности по прогнозному периоду.

Величина доверительного интервала U_I определялась по формуле:

$$U_I = I_{t+\ell}^p \pm t_\alpha \cdot m_{I_{t+\ell}^p}, \quad (3.12)$$

где $I_{t+\ell}^p$ — прогнозное значение I по модели (3.11) на $(t + \ell)$ -й момент времени;

t_α — табличное значение Стьюдента при уровне значимости α и числе степеней свободы $n - m - 1$, n — количество наблюдений, по которым построена модель, m — число параметров модели;

$m_{I_{t+\ell}^p}$ — средняя ошибка прогнозируемого значения:

$$m_{I_{t+\ell}^p} = s \cdot \sqrt{1 + X_0^T \cdot (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X_0}, \quad (3.13)$$

где s — стандартная ошибка оценки, м³/мин

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (I_t^\phi - I_t^p)^2}{n - m - 1}}; \quad (3.14)$$

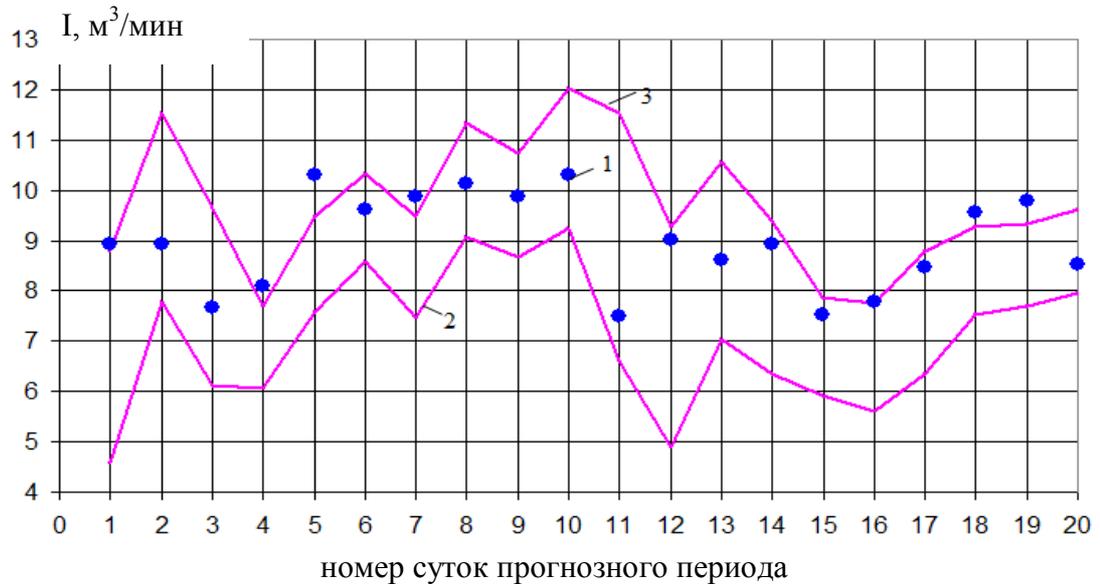
X — массив исходных данных A_t, A_{t-1}, A_{t-2} ;

X_0 — вектор данных $A_t^\ell, A_{t-1}^\ell, A_{t-2}^\ell$, по которым осуществляется прогноз.

Как следует из таблицы (3.14) и рисунка (3.28), ошибки первого рода на этом прогнозном периоде отсутствуют и наблюдается 4 ошибки второго рода, когда прогнозные значения меньше фактических.

Важным вопросом является устойчивость модели, т.е. возможность использования ее для оперативного прогноза на длительных промежутках времени. В качестве критерия перестройки модели предлагается средняя относительная ошибка аппроксимации модели $\delta_t > 30\%$ (неудовлетворительная точность), рассчитанная по 30 предыдущим прогнозным суткам:

$$\delta_t = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{I_t^{aa} - I_t^p}{I_t^{aa}} \right| \cdot 100\%. \quad (3.15)$$



1 — фактические значения среднесуточной метанообильности (●);
 2, 3 — нижняя и верхняя граница 95 % доверительного интервала на индивидуальное прогнозное значение среднесуточной метанообильности

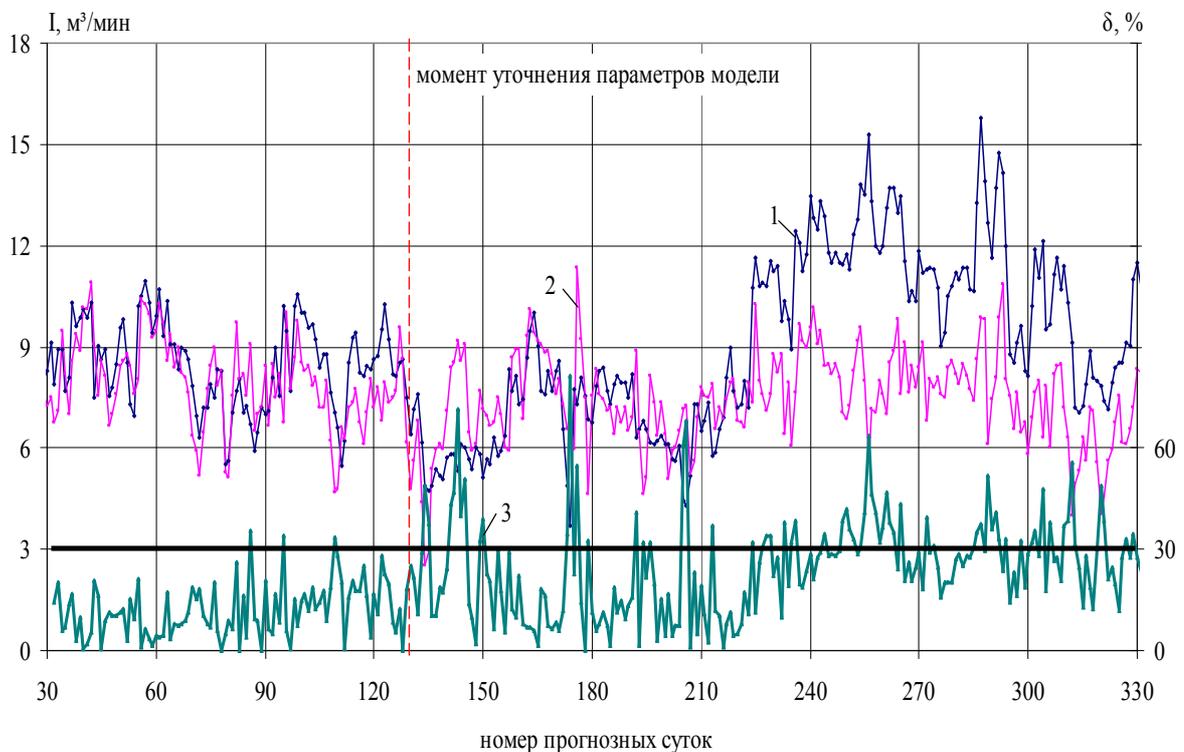
Рисунок 3.28 — Интервальный прогноз и фактические наблюдения по прогнозному периоду

Таблица 3.14 — Интервальный прогноз по модели (3.11)

Дата	I_t^{ϕ} , м ³ /мин	A_t	A_{t-1}	A_{t-2}	I_t^p , м ³ /мин по (3.11)	95% доверительный интервал на I_t^p , м ³ /мин	
						левая граница	правая граница
22.01.08	8,93	2915	800	1228	6,68	4,56	8,79
23.01.08	8,94	1842	2915	800	9,66	7,78	11,55
24.01.08	7,67	1538	1842	2915	7,88	6,12	9,64
25.01.08	8,11	2022	1538	1842	6,88	6,06	7,69
26.01.08	10,31	2078	2022	1538	8,52	7,58	9,47
27.01.08	9,62	1842	2078	2022	9,45	8,58	10,33
28.01.08	9,87	2483	1842	2078	8,47	7,46	9,48
29.01.08	10,12	2456	2483	1842	10,21	9,08	11,35
30.01.08	9,89	2369	2456	2483	9,71	8,68	10,74
31.01.08	10,30	3248	2369	2456	10,64	9,26	12,02
01.02.08	7,51	762	3248	2369	9,07	6,61	11,53
02.02.08	9,03	2797	762	3248	7,09	4,90	9,29
03.02.08	8,62	1496	2797	762	8,80	7,04	10,56
04.02.08	8,93	1823	1496	2797	7,87	6,35	9,39
05.02.08	7,53	995	1823	1496	6,89	5,92	7,87
06.02.08	7,79	2096	995	1823	6,69	5,61	7,77
07.02.08	8,47	1823	2096	995	7,57	6,36	8,79
08.02.08	9,55	1843	1823	2096	8,40	7,53	9,26
09.02.08	9,80	2059	1843	1823	8,51	7,70	9,32
10.02.08	8,54	1842	2059	1843	8,78	7,96	9,61

Так как нестационарный характер метановыделения в модели учитывается в основном корректирующей поправкой, то эта точность задается пределами изменения ε_t . Для условий 28 орловской лавы изменение адапционной поправки возможно в пределах $-2,75 \leq \varepsilon_t \leq 2,75$. В случае выхода за эти пределы, относительная ошибка аппроксимации модели $\delta_t > 30\%$. В этом случае необходимо пересчитывать оценки коэффициентов модели.

На рисунке 3.29 представлены результаты использования модели по периоду упреждения 300 суток. Очевидно, что на участках со структурными изменениями в динамике ряда метанообильности, корректирующей поправки недостаточно, необходимо уточнять параметры модели (рис. 3.29).



- 1 — фактические среднесуточные значения метанообильности;
- 2 — прогнозные среднесуточные значения метанообильности;
- 3 — средняя относительная ошибка аппроксимации δ

Рисунок 3.29 — Фактические и прогнозные значения метанообильности, рассчитанные по модели (3.11) по прогнозному периоду 300 сут.

Для реализации приведенного алгоритма построения модели (3.11) в шахтных условиях была разработана программа на языке Python, который

свободно устанавливается на различные операционные системы: Windows, macOS, Linux и Unix. Программа представлена в Приложении Б. В качестве базовых компонентов использованы библиотеки Statistics и numpy для расчета и библиотека JSON для хранения данных.

Полученная математическая модель (3.11) позволяет прогнозировать среднесуточное значение \bar{I} , но не обеспечивает расчет максимальных среднечасовых значений данного показателя внутри прогнозных суток, что важно с точки зрения срабатывания АГК и связанных с этим простоев лав. В нормативном документе [1] данная задача решена путем определения I_{\max} с учетом коэффициента неравномерности. Нами предлагается рассчитывать посуточно I_{\max} путем учета внутригрупповой часовой дисперсии σ_t , которая характеризует отклонение фактических среднечасовых значений I от среднесуточной величины \bar{I} , т.е. динамику внутри прогнозных суток. Расчет этой величины предлагается проводить по формуле [89]:

$$\sigma_t = 0,50 + 0,40 \cdot 10^{-3} A_{cp}. \quad (3.16)$$

С учетом предложенного методика учета метановыделения в лаве предполагает определение среднесуточной величины \bar{I}_t по формуле (3.11), а I_{\max} определяется с учетом нормального закона распределения (рис. 3.17) по формуле:

$$I_{\max} = \bar{I}_t + 3\sigma_t, \quad (3.17)$$

где σ_t — отклонение среднечасовых значений метановыделения от среднесуточного значения \bar{I} , м³/мин.

3.4 Оценка точности и надежности разработанной модели

После построения модели прогноза динамики I под влиянием A_{cp} были вычислены оценки ее точности и надежности в сравнении с действующей нормативной методикой [1].

Ожидаемое метановыделение в очистной выработке с учетом фактического в лаве-аналоге определялось по формуле (3.76) [1]:

$$\bar{I}_{\text{оч}} = \bar{I}_{\text{оч.ф}} \cdot \left(\frac{\ell_{\text{оч.п}}}{\ell_{\text{оч.ф}}} \right)^{0,4} \cdot \left(\frac{A_p}{A_{\text{ф}}} \right)^{0,6} \cdot k_{\text{с.п}} \cdot k_{\text{г.п}}, \quad (3.18)$$

где $\ell_{\text{оч.п}}$, $\ell_{\text{оч.ф}}$ — планируемая и фактическая длина лавы, м;

A_p — планируемая добыча, т/сут;

$A_{\text{ф}}$ — средняя фактическая добыча угля, при которой определено фактическое метановыделение;

$k_{\text{с.п}}$ — коэффициент, учитывающий изменение системы разработки;

$k_{\text{г.п}}$ — коэффициент, учитывающий глубину ведения работ.

Если принять, что длина лавы за предыдущий и планируемый периоды одинакова, система разработки и глубина ведения работ не изменялась, то формула (3.18) примет вид:

$$\bar{I}_{\text{оч}}^{\text{пр}} = \bar{I}_{\text{оч.ф}} \cdot \left(\frac{A_p}{A_{\text{ф}}} \right)^{0,6}, \quad (3.19)$$

а применительно к постановке вопроса для действующей лавы:

$$I_t = \frac{I_{t-1}}{A_{t-1}^{0,6}} \cdot A_t^{0,6}, \quad (3.20)$$

где I_{t-1} — метановыделение в действующей лаве за предшествующий период (м³/мин) при фактическом значении добычи A_{t-1} (т/сут);

A_t — планируемая добыча, т/сут.

Выполненное преобразование нормативной методики позволило получить результаты расчетов, адаптированные к решаемой задаче, в предложенной в диссертации постановке. Результаты выполненных оценок точности и надежности прогнозов по разработанной модели для разных периодов прогнозирования приведены в таблице 3.15. В ней же представлены и аналитические данные, рассчитанные по нормативной методике [1].

В результате установлено, что точность прогнозов по предложенной методике изменяется от 10 до 15 %, а по нормативной 23–29 %. Количество опасных ошибок II-го рода по предлагаемой методике в два раза меньше, чем по нормативной.

Таблица 3.15 — Сравнительный анализ нормативной методики [1] и модели (3.11)

Показатели точности	Ретроспективный прогноз с 21.12.07 по 21.01.08 методика (3.11) / норматив (3.19)	Период упреждения с 22.01.08 по 10.02.08 методика (3.11) / норматив (3.19)
Горизонт прогноза, сут	28/28	20/20
Средняя относительная ошибка аппроксимации, %	15/29	10/23
Стандартная ошибка, м ³ /мин	1,38/2,75	1,26/3,30
Ошибки I-го рода	2/12	5/16
Ошибки II-го рода	0/11	4/9

Более точные результаты прогноза по предложенной методике объясняются тем, что она учитывает не просто средневзвешенные фактические значения $\bar{I}_{оч.ф}$ и $A_{ср}$ за какой-то четко не определенный период времени, а динамику этого процесса за текущие, прошлые и позапрошлые сутки.

Выводы по разделу 3

1. Установлено, что в общем случае исходный динамический ряд метановыделения содержит трендовую, циклические и случайную компоненты. Кросс-спектральный анализ динамических рядов метановыделения и акустической эмиссии позволяет выявить синхронные колебания среднесуточных показателей. При этом пик метановыделения формируется с запаздыванием пика АЭ на трое суток, что объясняется периодическими изменениями в напряженно-деформированном состоянии углевмещающих пород.
2. По результатам корреляционного и спектрального анализов установлено, что доминирующим фактором, влияющим на динамику метановыделения, является

среднесуточная добыча из лавы и сопряженная с ней среднесуточная скорость ее подвигания.

3. Показано, что после увеличения среднесуточной добычи из лавы свыше порогового наблюдается изменение в тенденциях взаимосвязи абсолютного метановыделения и среднесуточной добычи в очистном забое. При этом установлено, что увеличение A_{cp} до порогового значения 1500 т/сут метанообильность в лаве увеличивается с ростом A_{cp} , а после этого при дальнейшем увеличении до 2200 т/сут уменьшается при одновременном росте дисперсии этого показателя, что в итоге приводит к росту абсолютного метановыделения.

4. Кросс-спектральный анализ динамики метановыделения и среднесуточной добычи показал, что низкочастотные колебания метановыделения являются следствием геомеханических процессов. Высокочастотные колебания метановыделения при высоких нагрузках на механизированный комплекс вызваны налаженной организацией работ, наличием четких технологических циклов.

5. При кросс-спектральном анализе синхронность изменения рядов добычи и метановыделения в часовом интервале усреднения наблюдается на частотах $0,04 \text{ ч}^{-1}$, $0,08 \text{ ч}^{-1}$, $0,17 \text{ ч}^{-1}$ (периоды соответственно 24, 12 и 6 часов). Эти частоты характеризуются наибольшими коэффициентами когерентности. Следовательно, на периодичность метановыделения определяющее влияние оказывают организационно-производственные циклы (сменные и суточные).

6. Установлено, что каждое суточное значение угледобычи оказывает значимое влияние на метановыделение в течение 2-3 последующих суток и эта закономерность описывается статистической моделью с распределенным лагом.

7. Влияние суточной угледобычи на метановыделение проявляется в течение 2-3 суток и описывается регрессионной моделью с распределенным лагом, что позволяет использовать ее для текущего прогноза предела нагрузки на механизированный комплекс по газовому фактору.

8. Разработанная модель прогноза метановыделения в лаве с распределенным лагом, учитывающая как трендовые, так и высокочастотные циклические колебания значений данного показателя в зависимости от суточных колебаний добычи угля, позволяет корректировать прогноз с учетом фактических данных за предшествующий период. Оценка точности и надежности прогноза по разработанной модели в сравнении с методикой, изложенной в действующем нормативном документе, показала, что она изменяется от 10 до 15 % в зависимости от периода прогноза, а по нормативной методике 23–29 %. При этом опасные ошибки II-го рода по предложенной методике и действующей составляют 4–5 случаев, а в нормативной методике 9–16.

9. В случае, если текущие прогнозные значения отличаются от фактических на величину более 30 %, предусмотрена корректировка параметров модели с помощью разработанной программы на языке Python, который свободно устанавливается на различные операционные системы.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

4.1 Методика планирования суточной угледобычи на основе текущего прогноза максимально допустимой нагрузки по газовому фактору

В результате исследований взаимного влияния процессов метановыделения и угледобычи в 28-ой орловской лаве ш. «Молодогвардейская» построена математическая модель (3.11), описывающая динамику этих процессов. Практическое значение этой модели заключается в возможности определения на каждые текущие сутки максимально допустимой нагрузки по прогнозному значению метанообильности, другими словами можно определить потенциал производительности механизированного комплекса по газовому фактору. Использование модели для этой цели позволит руководству планировать уровень угледобычи на очередные сутки в пределах потенциала производительности по газовому фактору, что будет способствовать снижению простоев из-за срабатывания аппаратуры автоматического газового контроля (АГК) и повышению безопасности ведения горных работ.

Планирование осуществляется на одни прогнозные сутки t . При необходимости прогноза на несколько суток процедура итерационно повторяется. Методика оперативного планирования угледобычи по газовому фактору состоит в следующем.

1. Рассчитываем предельную величину метанообильности $I_{пред}$, разбавляемой подаваемым количеством воздуха до допустимой концентрации метана в исходящей струе (1 % или 1,3 %):

$$I_{пред} = \frac{Q_{оч} \cdot (C - C_o)}{100}. \quad (4.1)$$

2. На прогнозные сутки t определяем множество допустимых значений угледобычи A_t $\{A_t : 0 \leq A \leq A_{техн}\}$, где $A_{техн}$ — максимально технически возможный уровень суточной производительности.
3. В прогнозные сутки t для всех значений множества $\{A_t\}$ по модели (3.11) рассчитываем прогнозные средние значения метанообильности $\{\bar{I}_t\}$ $\{\bar{I}_t : \bar{I}_t = f(A_t, A_{t-1}, A_{t-2}, I_{t-1}^{прогноз}, I_{t-1}^{факт})\}$, по формуле (3.16) определяем отклонения от среднего значения метанообильности $\{\sigma_t : \sigma_t = f(A_t)\}$ и по формуле (3.17) находим множество прогнозных максимальных значений метанообильности $\{I_{max}\}$.
4. Для прогнозных суток t формируем упорядоченное двумерное множество возможных значений угледобычи и соответствующих прогнозных максимальных значений метанообильности $\Omega = \{A_t, I_{max}\}$.
5. Из множества Ω выбираем подмножество Ω^- , элементы которого не превышают предельного значения метанообильности: $\Omega^- = \{A_t : I_{max} \leq I_{пред}\}$.
6. По подмножеству Ω^- находим значение I_{max} наиболее близкое к $I_{пред}$, т.е. определяем верхнюю грань множества $\Omega^- : I^* = \sup_{\Omega^-} I_{max}$.
7. Устанавливаем предельное значение производительности механизированного комплекса по газовому фактору $A_{пред}$, соответствующее I^* с помощью номограммы (рис. 4.1).

Для реализации алгоритма по методике, представленной в разделе 2 в расчетном модуле программы (Приложение Б) формируется база исходных данных, которая ежесуточно каждый час пополняется и после накопления исходных данных за 30 суток рассчитываются оценки модели (3.11).

После этого результаты работы программы (оценки коэффициентов модели и прогнозная база) передаются в электронные таблицы Excel для визуализации процесса управления добычей по газовому фактору (табл. 4.1).

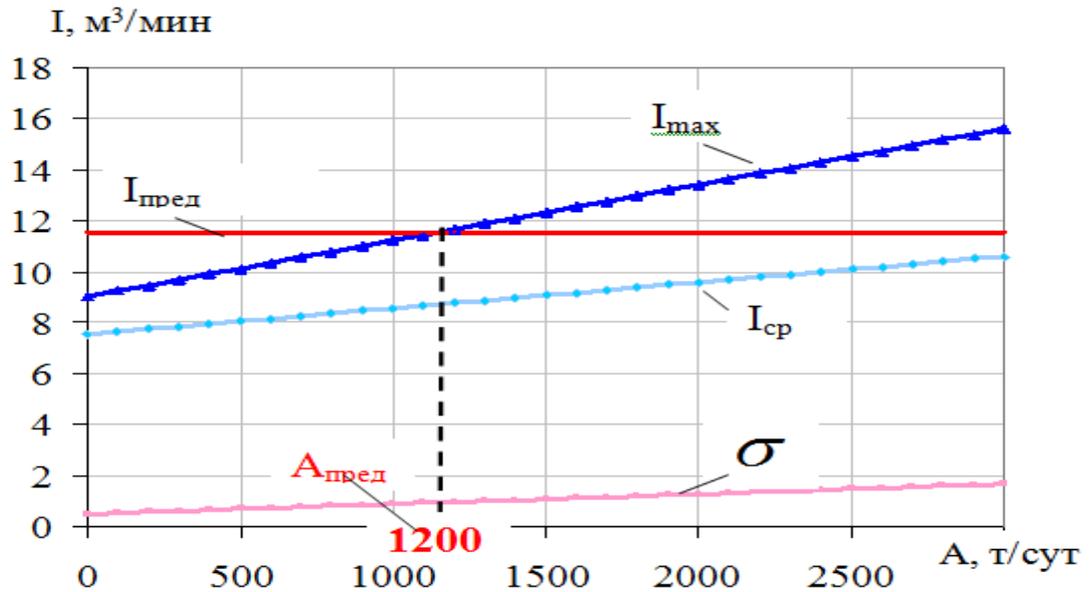


Рисунок 4.1 — Номограмма для планирования добычи по газовому фактору

Таблица 4.1 – Цифровая модель планирования суточной угледобычи по газовому фактору

№	дата	Исходные данные						РАСЧЕТ метанообильности				Предел max
		метанообильность			угледобыча			среднее по добыче	ε_{t-1}	среднее форм.(3.11)	max	
		среднее	СКО	max	A_t	A_{t-1}	A_{t-2}					
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	21.12.07	9.41	3.51	19.20	2133							
2	22.12.07	10.38	2.46	19.30	2618	2133						
3	23.12.07	11.85	2.30	19.45	1863	2618	2133	9.09	2.75			
4	24.12.07	7.66	1.67	13.08	2745	1863	2618	9.34	-3.90	11.56	16.28	11.56
5	25.12.07	7.07	0.95	8.94	1590	2745	1863	8.68	1.53	5.53	8.89	11.56
6	26.12.07	8.67	1.20	12.24	2761	1590	2745	9.06	-1.63	10.30	15.03	11.56
7	27.12.07	6.97	0.74	8.45	924	2761	1590	7.67	0.61	6.36	8.94	11.56
8	28.12.07	6.51	0.76	8.20	1822	924	2761	7.00	-0.98	7.49	11.12	11.56
9	29.12.07	6.72	0.60	8.28	1032	1822	924	5.33	2.18	4.54	7.24	11.56
10	30.12.07	6.62	0.60	7.87	2038	1032	1822	6.18	-1.32	7.94	11.83	11.56
11	02.01.08	4.62	0.72	6.40	2016	2038	1032	6.84	-1.15	5.77	9.63	11.56
12	03.01.08	6.26	1.03	8.36	1619	2016	2038	7.70	-0.51	6.77	10.16	11.56
13	04.01.08	5.38	0.51	6.64	1049	1619	2016	6.42	-0.63	6.01	8.73	11.56
14	05.01.08	5.13	0.42	6.07	2630	1049	1619	6.55	-0.91	6.04	10.62	11.56
15	06.01.08	5.40	0.68	6.72	2307	2630	1049	8.16	-2.02	7.42	11.63	11.56
16	07.01.08	4.72	0.67	6.07	0	2307	2630	7.32	-0.96	5.68	7.17	11.56
17	08.01.08	4.04	0.78	6.12	1572	0	2307	4.59	0.22	3.82	7.15	11.56
18	09.01.08	4.42	0.83	5.99	1295	1572	0	3.98	0.27	4.15	7.16	11.56
19	10.01.08	5.35	0.94	8.16	1504	1295	1572	5.76	-0.63	5.98	9.24	11.56
20	11.01.08	6.85	2.06	9.96	2369	1504	1295	6.63	0.73	6.12	10.40	11.56
21	12.01.08	7.72	1.79	12.84	1525	2369	1504	7.51	-0.38	8.10	11.38	11.56
22	13.01.08	9.35	1.50	12.60	2683	1525	2369	8.38	1.28	8.08	12.72	11.56
23	14.01.08				1400	2683	1525	7.94	-8.97	8.97	12.11	11.56

В очередные сутки, например 14.01.08, исходя из сложившейся технологической ситуации, принимается решение о плановом объеме добычи 1400 т. Как видно из таблицы, в расчетной части (столбец 12) максимальная метанообильность при такой добыче будет $12.11 \text{ м}^3/\text{сут}$, что больше допустимого значения $11,56 \text{ м}^3/\text{сут}$. (столбец 13). Следовательно, включается итерационная процедура изменения угледобычи на планируемые сутки (в табл. 4.1 на 14.01.08) до максимального приближения расчетного значения к $11,56 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Разработанная методика планирования суточной производительности механизированного комплекса по газовому фактору позволяет решить следующие задачи:

- устанавливать плановую нагрузку на механизированный комплекс на высокогазоносных пластах при условии полного использования потенциала производительности по газовому фактору;
- определять в оперативном режиме потенциал суточной производительности, реализация которого позволит исключать простои оборудования из-за отключения электроэнергии аппаратурой автоматического газового контроля;
- устанавливать объемы возможной компенсации потерь угледобычи из-за длительных (более смены) простоев механизированного комплекса вследствие технологических сбоев при полной реализации потенциала производительности по газовому фактору;
- определять длительность периода компенсации потерь добычи после очередного сбоя работы технологической схемы шахты.

Представленная методика позволяет определять потенциал производительности механизированного комплекса по газовому фактору. Однако, когда рассчитанное значение сильно занижает технические возможности высокопроизводительных механизированных комплексов, возникают нарушения газового режима — срабатывание АГК и дополнительные простои очистного оборудования. Такая ситуация прежде всего возникает при недостаточной эффективности применяемой схемы проветривания и нерациональном использовании подаваемого в лаву воздуха для разбавления содержания метана

до допустимой по ПБ [59] концентрации. В связи с этим возникает задача обоснования выбора для отработки высокогазоносных пластов схем проветривания и определения технических решений, обеспечивающих эффективное использование подаваемого в лаву воздуха.

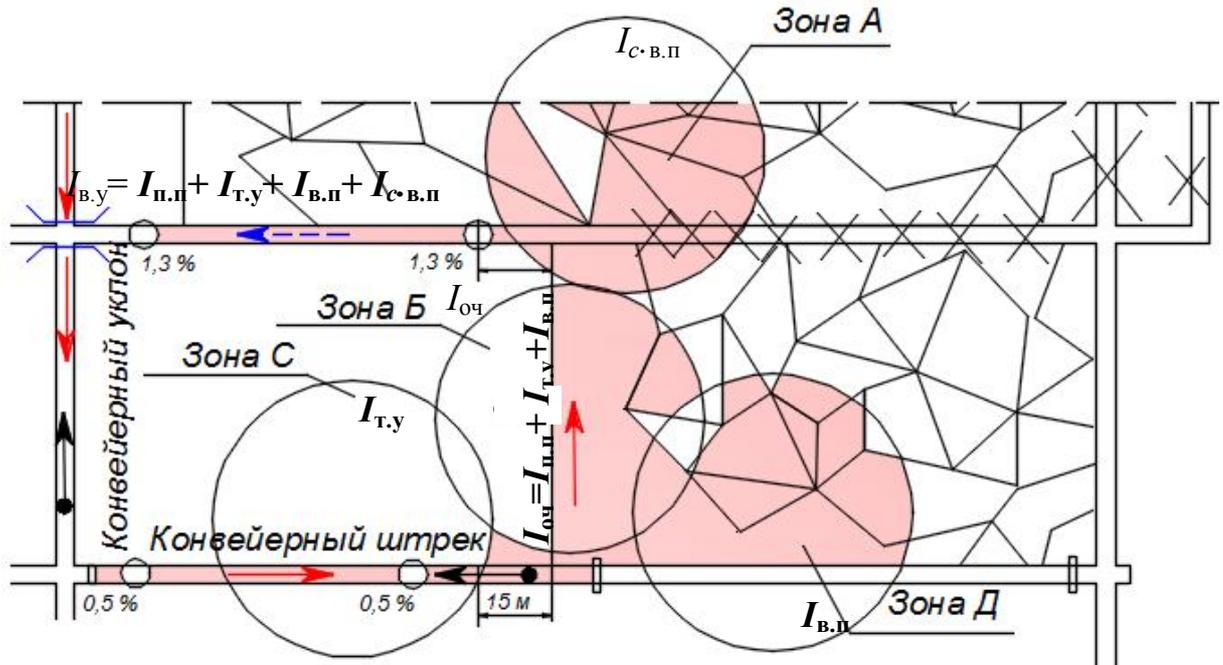
4.2. Выбор технологической схемы выемочного участка для отработки высокогазоносных пластов

Основную функцию разделения источников метановыделения и разбавления метана по мере поступления в свежую струю воздуха выполняют схемы проветривания. После массовых газовых аварий Госгорпромнадзором Украины на основе заключения группы экспертов было вынесено решение о запрещении применения схем вентиляции типа 1М при отработке газоносных пластов [91]. Для принятия более эффективных технологических решений следует рассмотреть причины такого запрещения.

При панельной подготовке и отработке выемочных участков высокопроизводительными комплексами применяется система разработки обратным ходом с повторным использованием подготовительных выработок, поэтому схема проветривания с направлением исходящей струи на массив может иметь две разновидности 1-М-Н-в-вт и 1-М-Н-н-вт.

Схема 1-М-Н-в-вт классифицируется [1] как независимое проветривание с последовательным разбавлением вредностей по источникам поступления, с направлением выдачи исходящей из лавы струи воздуха на массив угля, с восходящим направлением свежей струи по лаве и возвратноточным направлением свежей и исходящих струй. Как видно из рисунка 4.1, метанообильность очистного забоя $I_{оч}$ формируется метановыделением в призабойном пространстве $I_{п.п}$ (зона Б), метановыделением из транспортируемого угля по конвейерному штреку $I_{т.у}$ (из зоны С), а также метановыделением из выработанного пространства отрабатываемого выемочного участка $I_{в.п}$ (зоны Д).

Метанообильность выемочного участка является наибольшей из всех рекомендуемых схем [1, 91], так как складывается со всех источников метановыделения $I_{оч}$ и пополняется метановыделением из зоны А — из выработанного пространства ранее отработанного соседнего выемочного участка $I_{с.в.п}$ (табл. 4.2).



→ - направление движения свежей струи; ---→ - направление движения исходящей струи; ●→ - направление транспортирования угля ○ 1,3% - датчик метана с предельной концентрацией отключения энергосети, ≡ - кроссинг, □ - переносная вентиляционная перемычка

Рисунок 4.1 — Схема проветривания 1-М-Н-в-вт

Таблица 4.2 – Структура метанообильности выработок выемочного участка с возвратными схемами проветривания

Схема проветривания	Метанообильность	
	в очистном забое	выемочного участка
1-М-Н-в-вт	$I_{оч.} = I_{п.п} + I_{т.у} + I_{в.п}$	$I_{в.у.} = I_{п.п} + I_{т.у} + I_{в.п} + I_{с.в.п}$
1-М-Н-н-вт	$I_{оч.} = I_{п.п} + I_{с.в.п} + I_{в.п}$	$I_{в.у.} = I_{п.п} + I_{с.в.п} + I_{в.п} + I_{т.у}$

Схема 1-М-Н-н-вт, по сравнению со схемой 1-М-Н-в-вт, отличается нисходящим направлением струи воздуха в очистном забое. При этом метанообильность очистного забоя является суммой метановыделений из зоны А

— $I_{с.в.п.}$, из зоны С — $I_{п.п.}$, из зоны Д — $I_{в.п.}$ (табл. 4.2). Объемы метановыделения из выработанного пространства чаще всего намного больше, чем метановыделение из угля, транспортируемого по конвейерному штреку. С этой точки зрения, схема с восходящим направлением вентиляционной струи в очистном забое предпочтительнее. Дополнительным недостатком схемы 1-М-Н-н-вт является то, что исходящая струя участка с наибольшим содержанием метана проходит по выработке, насыщенной электрооборудованием.

Схемы 1-М имеют следующие достоинства: возможность погашения повторно используемых выработок вслед за лавой и сокращение затрат на их поддержание; минимизация утечек воздуха в лаве; вентиляционная струя в лаве прижимается общешахтной депрессией к угольному забою и тем самым хорошо разбавляется метан, выделяющийся в зоне работы комбайна.

Тем не менее, как видно из таблицы 4.2, схемы типа 1-М не выполняют свою основную функцию — снижение метанообильности очистного забоя до уровня метановыделения из призабойного пространства и обеспечения максимально возможной нагрузки на очистной забой по газовому фактору.

Из новых схем проветривания [91], разработанных специально для обеспечения работы высокопроизводительных механизированных комплексов на пластах с высокой газоносностью, следует рассмотреть комбинированные схемы типа К (рис. 4.2).

В классификации схем [1] комбинированные схемы не дифференцируются по взаимному направлению свежей и исходящих струй. Но эта характеристика является наиболее важной, так как при разделении исходящей струи из очистного забоя большее количество воздуха следует направлять в сторону большего метановыделения.

В начале отработки выемочного столба обратным ходом наибольшее метановыделение будет из транспортируемого угля по конвейерному штреку и поэтому необходима возвратноточная схема проветривания (вт). В дальнейшем при сокращении конвейерной линии метановыделение из транспортируемого угля будет уменьшаться, а метановыделение из выработанного пространства

возрастать, поэтому потребуется переход на прямоточную схему проветривания (ПТ).

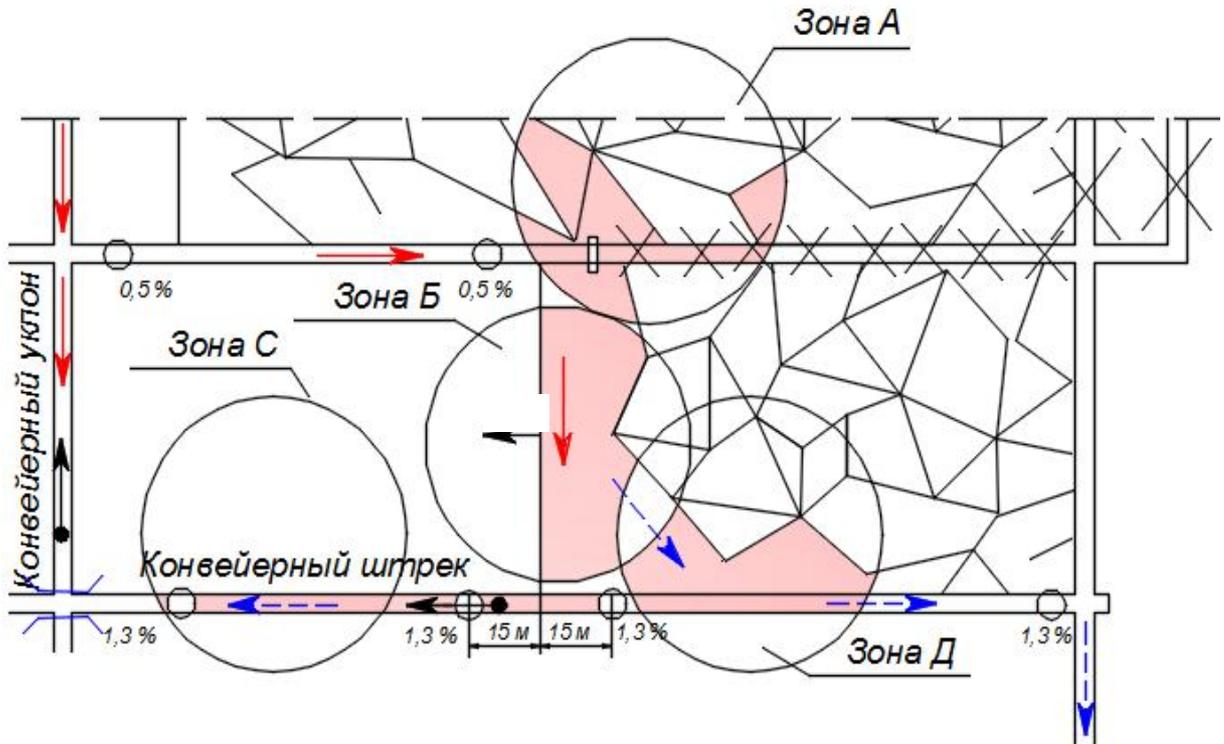


Рисунок 4.2 — Комбинированная схема проветривания 3-К- Н-н-вт/пт с одним газоотводом [91]

Формирование метанообильности по схеме, представленной на рисунке 4.3, выражается следующими формулами.

В очистном забое:

$$I_{\text{оч}} = I_{\text{п.п}} + I_{\text{с.в.п.}} + a \cdot I_{\text{в.п}} \quad (4.4)$$

где a — доля метановыделения выработанного пространства отработываемого выемочного участка.

В исходящих струях из выемочного участка для первого периода его отработки:

$$I_{\text{ву}} = bI_{\text{оч}} + I_{\text{т.у.}} \quad (4.5)$$

где b — доля метанообильности очистного забоя, попадающая в исходящую струю выемочного участка.

В газоотвод по конвейерному штреку:

$$I_{Г.Н} = (1-b)I_{В.П} + (1-a) \cdot I_{В.П} \quad (4.6)$$

Как следует из формул (4.3–4.6), эта схема обеспечивает по сравнению со схемами 1-М снижение метанообильности очистного забоя и исходящих струй. Недостатком схемы является подпитка метанообильности очистного забоя метановыделением из зоны А. Этот недостаток исключает комбинированная схема с двумя газоотводами (рис. 4.3).

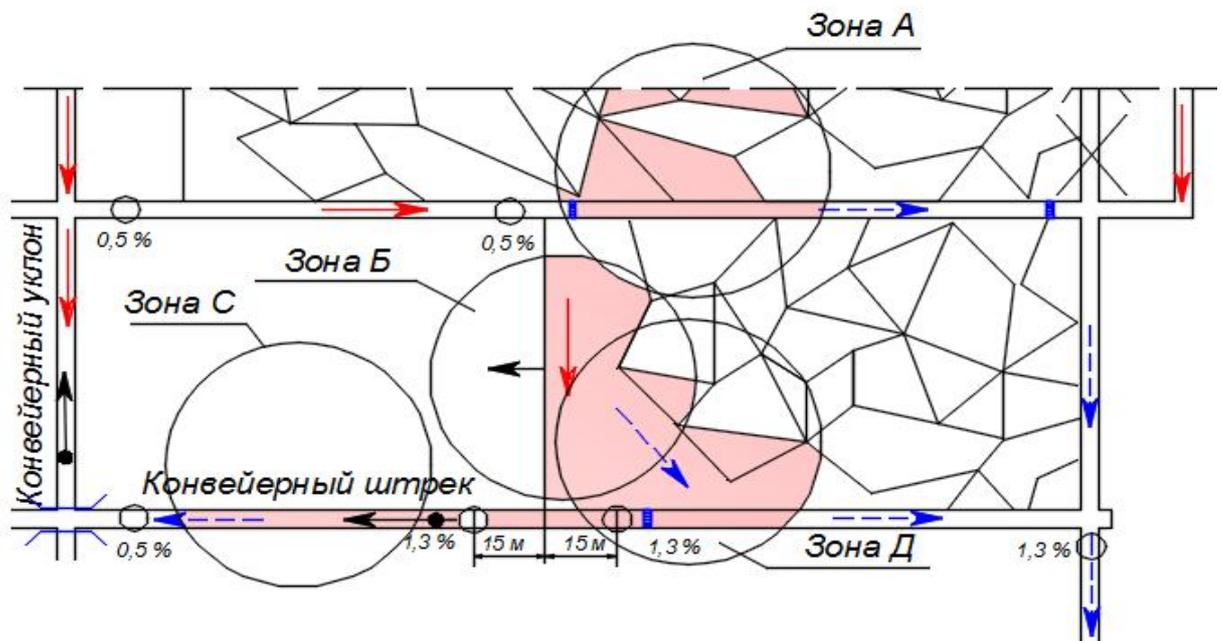


Рисунок 4.3 — Комбинированная схема проветривания 3-К- Н-н-вт/пт с двумя газоотводами [91]

Формирование метанообильности по схеме, представленной на рисунке 4.4, выражается следующими формулами.

В очистном забое:

$$I_{оч} = I_{П.П} + a \cdot I_{В.П} \quad (4.7)$$

где a — доля метановыделения из выработанного пространства обрабатываемого выемочного участка, которая попадает в очистной забой.

В исходящих струях из выемочного участка для первого периода его отработки по формуле (4.5). В газоотвод (нижний) по конвейерному штреку по формуле (4.6), а в газоотвод (верхний) по воздухоподающему штреку:

$$I_{\text{ГВ}} = I_{\text{с.в.п}} \quad (4.8)$$

Схема обеспечивает согласно (4.7) формирование минимальной метанообильности очистного забоя.

Общим недостатком комбинированных схем является сложность их проектирования из-за доли метанообильности очистного забоя, попадающей в исходящую струю выемочного участка, изменяющейся по мере отработки выемочного столба [92]. Кроме того, применение комбинированных схем на выбросоопасных пластах запрещено из-за подачи воздуха к очистному забою по одной выработке [1].

В нормативных документах [1, 91] для высокогазоносных и выбросоопасных пластов рекомендуются схемы с прямоточным направлением исходящей струи на выработанное пространство типа 2-В-Н-в-пт (рис. 4.4) и 3-В-Н-н-пт (рис. 4.5). Свежий воздух в очистной забой подается по конвейерному штреку, и поэтому метан, выделяющийся из транспортируемого угля $I_{\text{т.у}}$ (зона С), дополняет метановыделение из источников призабойного пространства $I_{\text{п.п}}$ зоны Б (табл. 4.3). Исходящая струя из выемочного участка собирает метановыделение со всех источников зон А, Б, С, Д, как и в схеме 1-М-Н-в-вт. Обеспечение выдачи исходящей струи участка по выработке, находящейся в выработанном пространстве, является весьма затратным мероприятием по материалам и трудоемкости.

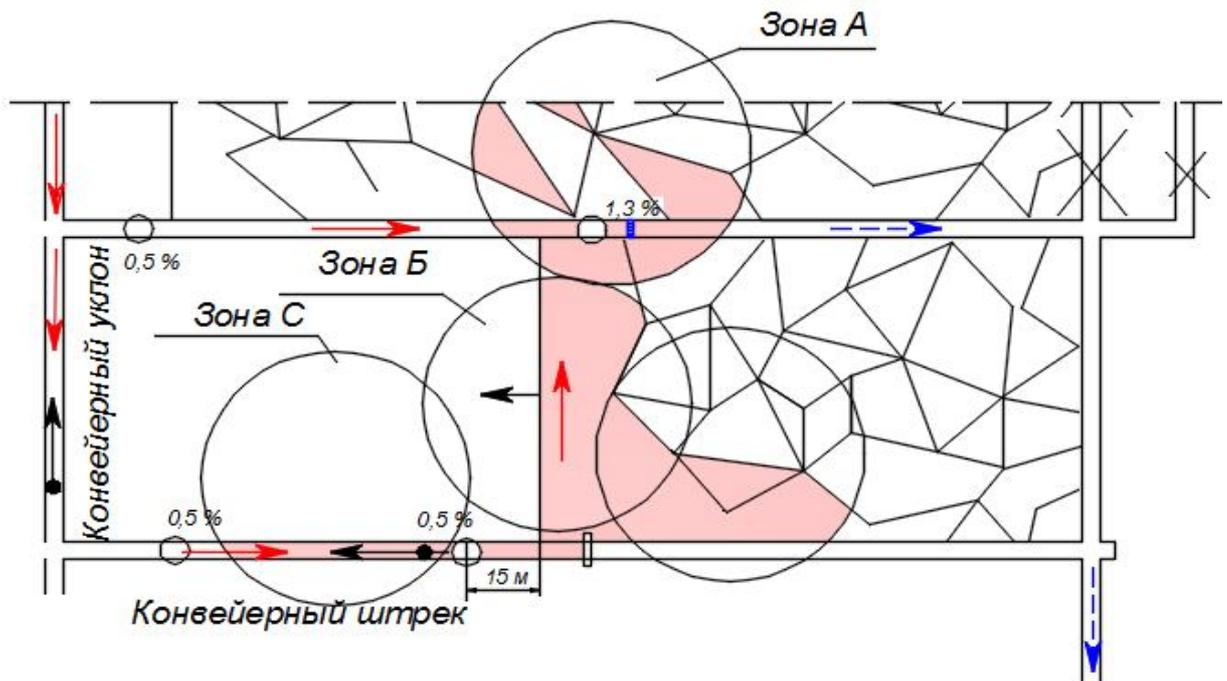


Рисунок 4.4 — Схема проветривания 2-В-Н-в-пт [1, 91]

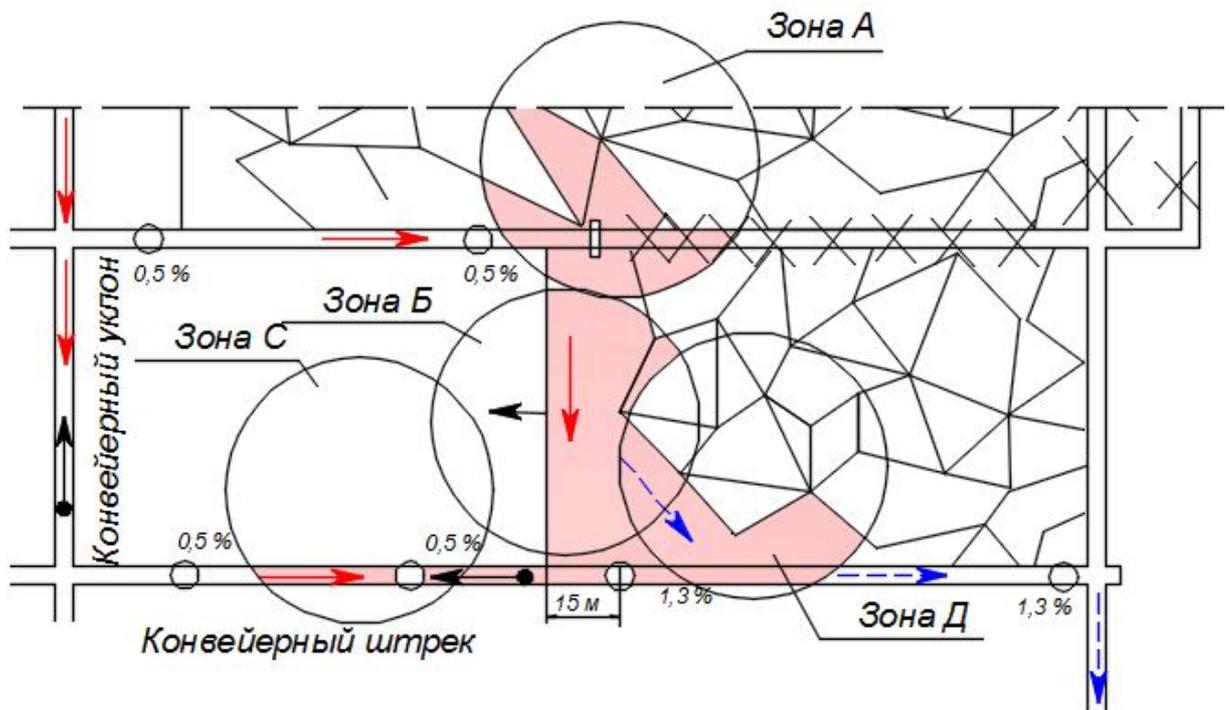


Рисунок 4.5 — Схема проветривания 3-В-Н-н-пт [1]

Таблица 4.3 — Структура метанообильности выработок выемочного участка с прямоточными схемами проветривания

Схема проветривания	Метанообильность		
	в очистном забое	в исходящей струе	в газоотводе
2-В-Н-в-пт	$I_{\text{оч.}} = I_{\text{п.п}} + I_{\text{т.у}} + a \cdot I_{\text{в.п}}$	$I_{\text{в.у}} = I_{\text{п.п}} + I_{\text{т.у}} + I_{\text{в.п}} + I_{\text{с.в.п}}$	-
3-В-Н-н-пт	$I_{\text{оч.}} = I_{\text{п.п}} + I_{\text{с.в.п}} + a \cdot I_{\text{в.п}}$	$I_{\text{в.у}} = I_{\text{п.п}} + I_{\text{т.у}} + I_{\text{в.п}} + I_{\text{с.в.п}}$	-
3-В-Н-н-пт с газоотводом	$I_{\text{оч.}} = I_{\text{п.п}} + a \cdot I_{\text{в.п}}$	$I_{\text{в.у}} = I_{\text{п.п}} + I_{\text{т.у}} + I_{\text{в.п}}$	$I_{\text{г}} = I_{\text{с.в.п}}$

Рекомендуемая схема 3-В-Н-н-пт значительно лучше решает проблему проветривания (рис. 4.6). Для пропуска всего воздуха выемочного участка используется конвейерный штрек, поддерживаемый в условиях: выработанное пространство-массив угля, он лучше сохраняет поперечное сечение. Верхний воздухоподающий штрек можно погашать вслед за лавой, что значительно сокращает затраты на поддержание.

Недостатком схемы является захват свежей струей, подаваемой в очистной забой, метановыделения из зоны А. Общая метанообильность выемочного участка имеет такую же структуру, как и по схеме 2-В-Н-в-пт, и складывается из метановыделений всех зон А, Б, С и Д (табл. 4.3).

Снизить метанообильность очистного забоя позволяет подача дополнительного воздуха для газоотвода метана из выработанного пространства ранее отработанного выемочного участка из зоны А, т.е. необходимо добавить в схему 3-В-Н-н-пт газоотвод по неподдерживаемой части воздухоподающего штрека (рис. 4.6).

Схема проветривания 3-В-Н-н-пт с газоотводом позволяет лучше разделить метановыделения из источников призабойного и выработанного пространства. Метанообильность очистного забоя формируется метановыделением из источников призабойного пространства, возможными притечками метановыделения из выработанного пространства (табл. 4.3). За счет газоотвода уменьшается также и метанообильность исходящей струи из выемочного участка на величину $I_{\text{с.в.п}}$. При этом в зоне Б возникают утечки воздуха из призабойного пространства и их необходимо контролировать герметичностью охранной полосы

конвейерного штрека. Для снижения аэродинамического сопротивления газоотводящего штрека необходимо применение усиленных средств его охраны.

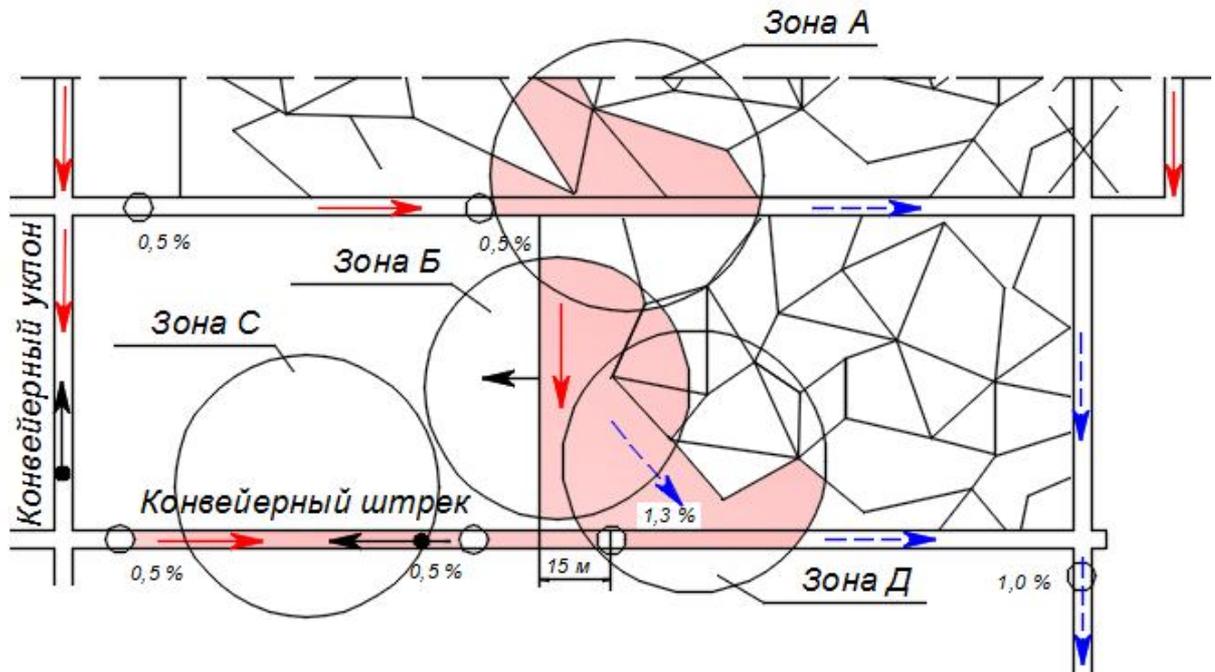


Рисунок 4.6 — Схема проветривания 3-В-Н-н-пт с газоотводом по неподдерживаемому штреку.

Таким образом, исходя из анализа известных схем проветривания выемочных участков в условиях высокой метанообильности, следует:

- ни одна из схем, рекомендуемых нормативными документами, не обеспечивает полного разделения метановыделений из призабойного и выработанного пространств;

- экспериментальной проверке подлежит схема проветривания 3-В-Н-н-пт с газоотводом по неподдерживаемой выработке, которая в максимальной степени обеспечивает разделение метановыделений из призабойного и выработанного пространств;

- для снижения утечек воздуха из очистного забоя при проветривании по экспериментальной схеме 3-В-Н-н-пт с газоотводом необходима разработка технико-технологических мероприятий по поддержанию выработок и по снижению утечек воздуха из очистного забоя.

4.3 Техническое решение по снижению аэродинамического сопротивления механизированной крепи

Существующая проблема ограничения производительности механизированного комплекса при применении прямоточных схем проветривания с направлением исходящей струи на выработанное пространство до сих пор не имеет окончательного решения.

Расчет необходимого количества воздуха для проветривания выемочного участка по схеме 3-В-Н-н-пт с газоотводом определяется по формуле [1]:

$$Q_{уч} = Q_{подсв} + Q_z + \frac{Q_{оч}}{k_{оз}} k_{ум.в}, \quad (4.9)$$

где $Q_{подсв}$ — расход воздуха для подсвещения исходящей струи;

Q_z — расход воздуха, используемого при газоотводе;

$Q_{оч}$ — расход воздуха, необходимого для проветривания лавы;

$k_{оз}$ — коэффициент, учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства, непосредственно прилегающего к призабойному пространству;

$k_{ум.в}$ — коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство.

Из формулы (4.9) следует, что на вход в очистной забой необходимо подавать больше воздуха, что необходимо для проветривания призабойного пространства:

$$Q_{вх} = \frac{Q_{оч}}{k_{оз}} k_{ум.в} \quad (4.10)$$

Часть воздуха (утечки) устремляется через воздухопроницаемое выработанное пространство в направлении к месту приложения депрессии. Благодаря этим утечкам метан из выработанного пространства не попадает в призабойное. Однако утечки воздуха не должны приводить к снижению необходимого количества воздуха для проветривания самого очистного забоя.

При заданной депрессии $h_{оч}$ на уже работающем выемочном участке количество воздуха, которое пойдет в очистной забой, существенно зависит от его аэрологического сопротивления $R_{оч}$ и определяется по формуле:

$$Q_{оч} = \sqrt{\frac{h_{оч}}{R_{оч}}}, \quad (4.11)$$

В свою очередь аэродинамическое сопротивление очистного забоя, оборудованного механизированным комплексом, рассчитывается по формуле [1]:

$$R_{оч} = 0,01 r_{100} \cdot l_{оч} + \frac{0,0612 (\xi_{вх} + \xi_{вых})}{S_{оч}^2} \quad (4.12)$$

где r_{100} — удельное аэродинамическое сопротивление механизированного комплекса при длине очистного забоя, равной 100 м, определяется по таблице 6.5 из [1];

$l_{оч}$ — длина очистного забоя, м;

$S_{оч}$ — площадь поперечного сечения очистного забоя в свету, оборудованного механизированной крепью, м, определяется по таблице 6.5 из [1];

$\xi_{вх}$, $\xi_{вых}$ — коэффициенты местного сопротивления входа и выхода очистного забоя, определяются по таблице 9.1 из [1].

Удельное аэродинамическое сопротивление призабойного пространства механизированного комплекса последнего поколения, например КМ138, при мощности угольного пласта 2,2 м составляет 0,06 кц. Для сравнения у механизированного комплекса первого поколения КМ87УМВ при той же мощности пласта меньше в 2 раза и составляет 0,03 кц. Из формул (4.11) и (4.12) следует, что увеличение r_{100} и далее $R_{оч}$ привело к уменьшению в 4 раза расхода воздуха в очистном забое.

Повышение аэродинамического сопротивления секций крепи М138 произошло из-за усложнения конструкции ограждений, которые приобрели желобоподобную форму, и из-за разветвленной сети высоконапорных шлангов управления секциями крепи и конвейером лавы.

Таким образом, снижение удельного аэродинамического сопротивления механизированной крепи 3М90Т (аналог М138) является одним из основных направлений снижения концентрации метана за счет рационального использования подаваемого в лаву воздуха. Среди возможных технических решений по снижению аэродинамического сопротивления и уменьшению перетока метановоздушной смеси между выработанным и призабойным пространствами наиболее близким по своей идее является известное техническое решение (Авт. свид. СССР № 976098, кл. Е 21 F 1/00, опубл. БИ. № 43, 1982). Для очистных забоев с индивидуальной крепью предлагается установка в призабойном пространстве продольной перегородки вдоль всей линии очистного забоя для разделения воздуха, подаваемого в лаву, на два потока. При этом в часть призабойного пространства, примыкающую к выработанному, подается воздух с большей скоростью. Такое решение имеет следующие недостатки.

Обеспечение большей скорости воздуха в выработанном пространстве из-за большего его сечения потребует и большего расхода воздуха, а это возможно только за счет сокращения подачи воздуха в призабойное пространство. Уменьшение количества воздуха, поступающего в призабойное пространство, повысит концентрацию метана в зоне действия очистного оборудования, т.е. снизит безопасность ведения работ в лаве.

Величина сечения воздухопроницаемого выработанного пространства неизвестна и изменяется неконтролируемо вследствие обрушения зависающих пород, и поэтому невозможно рассчитать необходимое количество воздуха для проветривания выработанного пространства. Кроме того, увеличение количества воздуха, поступающего в выработанное пространство, повышает опасность взрывов угольной пыли, а также самовозгорания угля. Создание герметичной воздухо непроницаемой перегородки, исключающей перетекание воздуха из разделенных частей призабойного пространства, требует сложных конструкторских решений, а, следовательно, значительного удорожания механизированной крепи.

В данной работе была поставлена задача увеличения количества воздуха, проходящего в призабойном пространстве комплексно-механизированных очистных забоев на высокогазоносных угольных пластах, за счет снижения аэродинамического сопротивления секций крепи, а также за счет уменьшения утечек воздуха в выработанное пространство путем изоляции призабойного пространства от выработанного.

В качестве решения поставленной задачи был разработан способ регулирования расхода воздуха в призабойном пространстве с помощью парусного устройства [93], заключающийся в следующем. На каждую секцию механизированной крепи вплотную к задней стойке 2 со стороны призабойного пространства навешивают съемные гибкие экраны 1 (рис. 4.7, 4.8), из которых создается сплошная поверхность по всей высоте призабойного пространства и длине лавы. Образовавшаяся поверхность разделяет подаваемую струю свежего воздуха на два потока. Один (А) направлен по призабойному пространству между угольным забоем и изолирующей поверхностью, а второй (В) — по воздухопроницаемому выработанному пространству. При наложении соседних сегментов за счет упругости зажимных пластин возникает их прижатие друг к другу, и таким образом из отдельных сегментов создается сплошная разделительная поверхность (рис. 4.8).

Следует отметить, что для нисходящего проветривания наиболее благоприятным является направление выемки угля сверху вниз, так как струя поступающего воздуха будет направлена непосредственно на шнеки комбайна. При этом передвижка секции крепи вслед за комбайном обеспечивает стыковку очередного сегмента C_i с передвинутой поверхностью П парусного регулятора простым наложением (рис. 4.9 а).

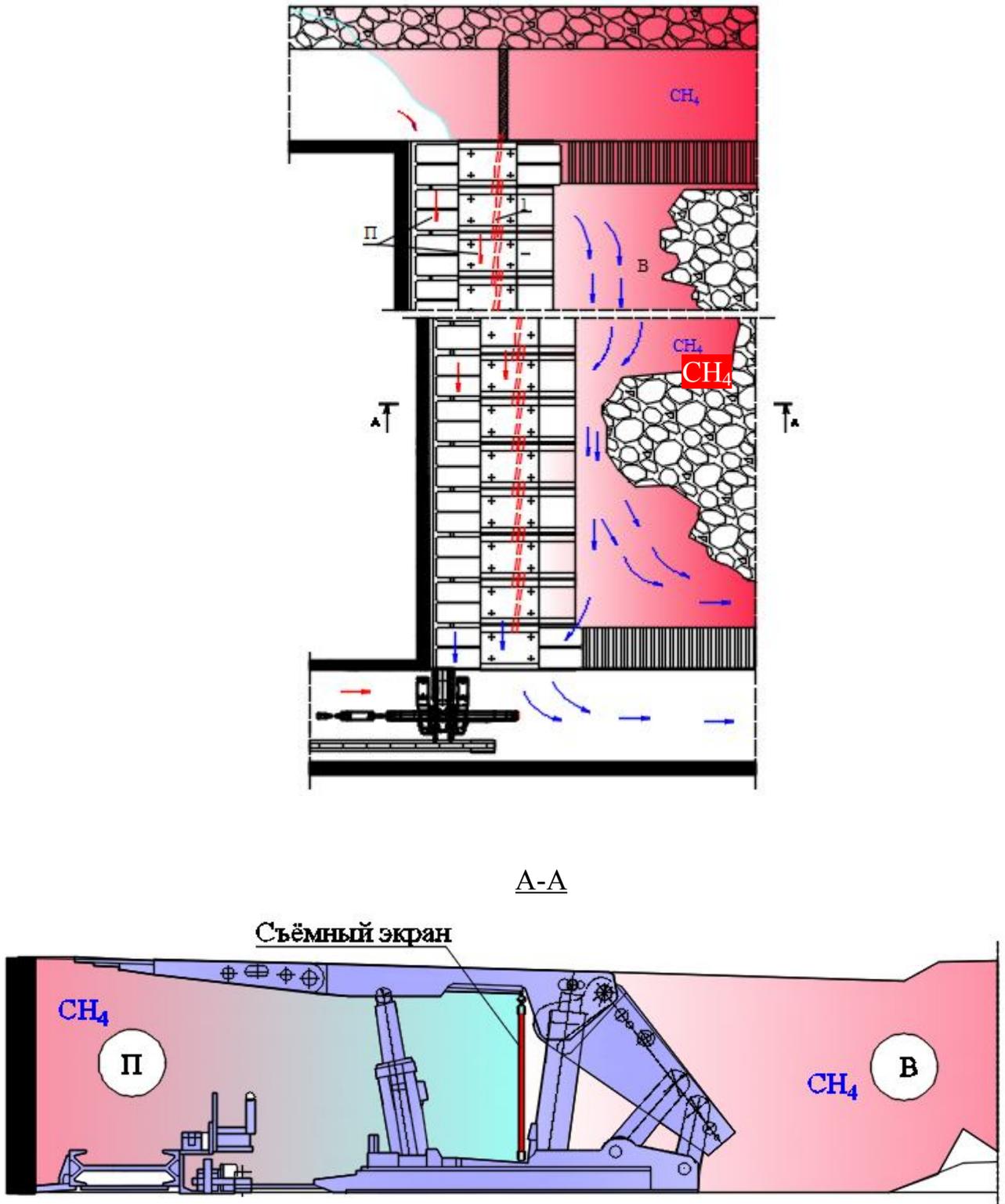
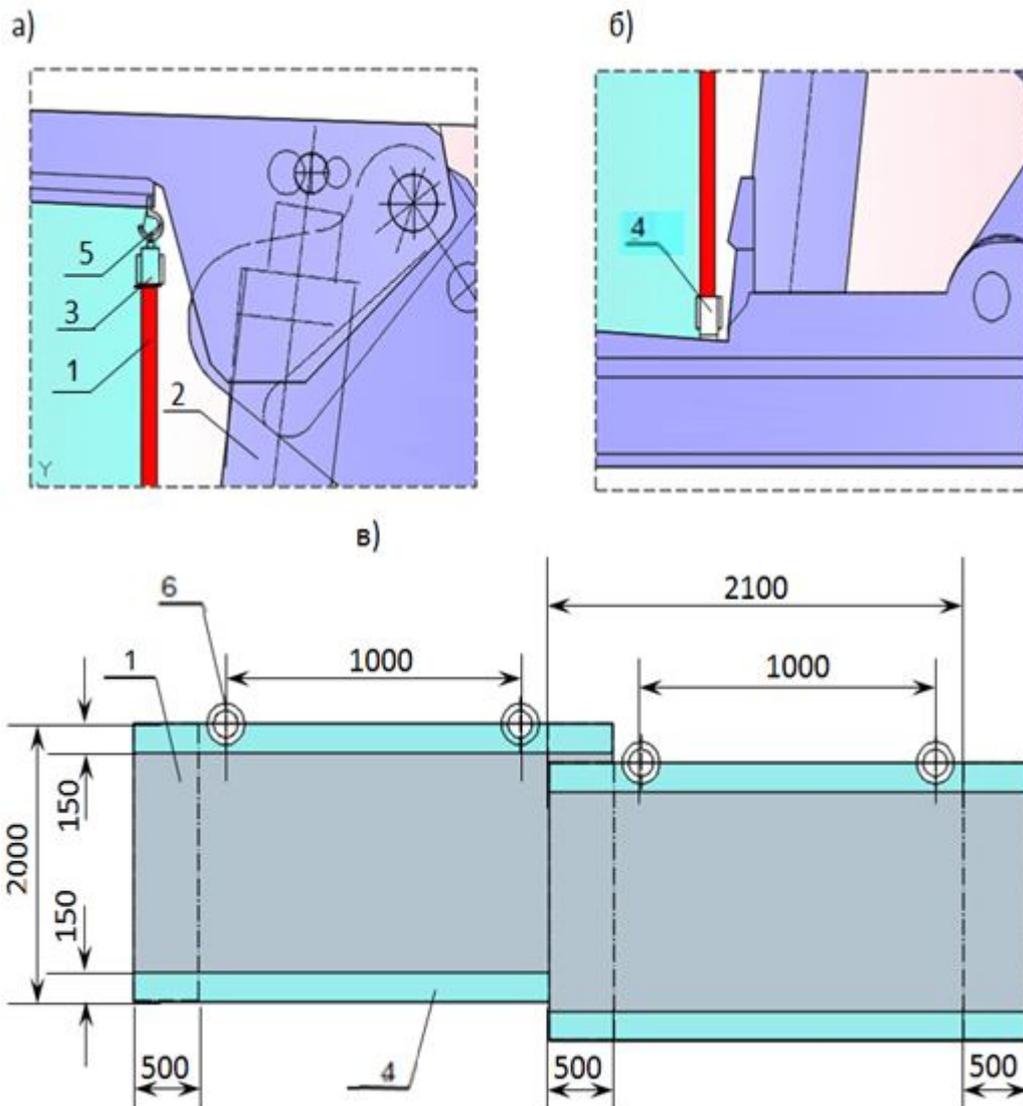


Рисунок 4.7 — Схема навески парусного устройства на секции крепи механизированного комплекса 3МКД90



1 – экран из гибкого воздухонепроницаемого материала; 2 – задняя гидростойка;
 3 – верхний зажим экрана; 4 – утяжелитель экрана для его удержания в
 вертикальном положении;
 5 – крюк для навески устройства, 6 – скоба

а) навеска парусного регулятора; б) нижний зажим-утяжелитель;
 в) размеры парусных сегментов

Рисунок 4.8 — Конструкция навески парусного устройства на секции крепи
 механизированного комплекса ЗМКД90

Во время выемки угля в обратном направлении, снизу вверх, проветривание шнеков менее эффективное, передвижка сегментов парусного регулятора усложняется, так как происходит переформатирование стыковки сегментов (рис. 4.9 б).

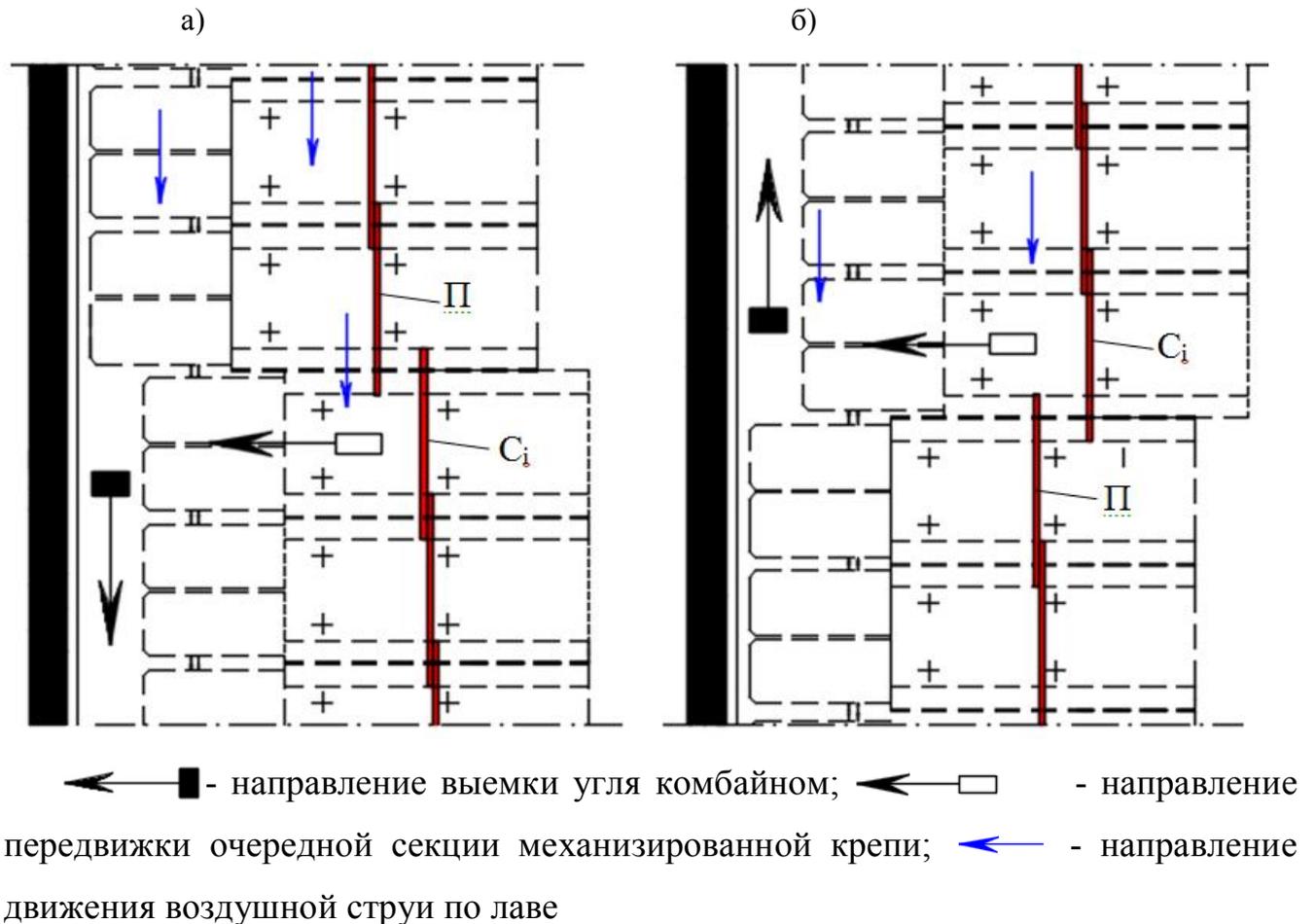


Рисунок 4.9 — Схема стыковки сегментов парусного устройства при нисходящем проветривании и передвижке крепи вслед за комбайном

Целью предлагаемого технического решения является снижение аэродинамического сопротивления крепи М90Т за счет отсечения парусным устройством части пространства секции, загроможденного элементами местного аэродинамического сопротивления. Неопределенность предлагаемой конструкции заключается в том, что она сокращает сечение призабойного пространства в свету $S_{оч}$. Для крепи М90Т при $S_{оч} = 5,2 \text{ м}^2$ сечение в свету уменьшается до $S_{оч} = 4,6 \text{ м}^2$, что составляет 11,3 %. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо установить удельное сопротивление механизированной крепи с применением предлагаемого парусного устройства.

4.4 Оценка удельного аэродинамического сопротивления механизированной крепи с парусным устройством

Для обоснования использования парусного устройства в различных выемочных участках была проведена оценка удельного аэродинамического сопротивления r_{100} и разработана соответствующая методика [94-96]. В работе [97] показано, что существует аналогия между разностью электрических потенциалов и депрессией, удельным электрическим сопротивлением и удельным аэродинамическим сопротивлением, силой тока и расходом воздуха. Аналитические зависимости, описывающие аэродинамические процессы в горных выработках, имеют вид, сходный с уравнениями, описывающими распространение электрического тока — метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА).

Схему проветривания 3-В-Н-н-пт (рис. 4.5) можно представить в виде электрического соединения (рис. 4.10). Для получения математической модели взаимосвязи этих параметров был использован метод суперпозиции электрических цепей [98].

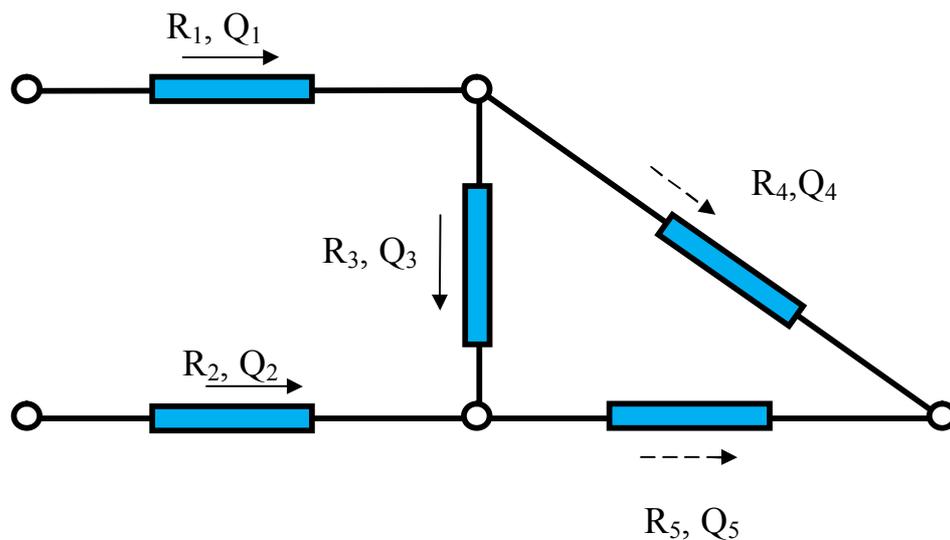


Рисунок 4.10 — Электрическая модель вентиляционной сети выемочного участка

На рисунке 4.10 использованы следующие условные обозначения аэродинамических параметров:

R_i , Q_i – соответственно аэродинамическое сопротивление и количество воздуха в i -ой выработке:

$i = 1$ – вентиляционный штрек;

$i = 2$ – конвейерный штрек до подхода лавы;

$i = 3$ – очистной забой;

$i = 4$ – выработанное пространство;

$i = 5$ – конвейерный штрек после прохода лавы.

Исходная схема (рис. 4.10) была преобразована в два контура (рис. 4.11, 4.12).

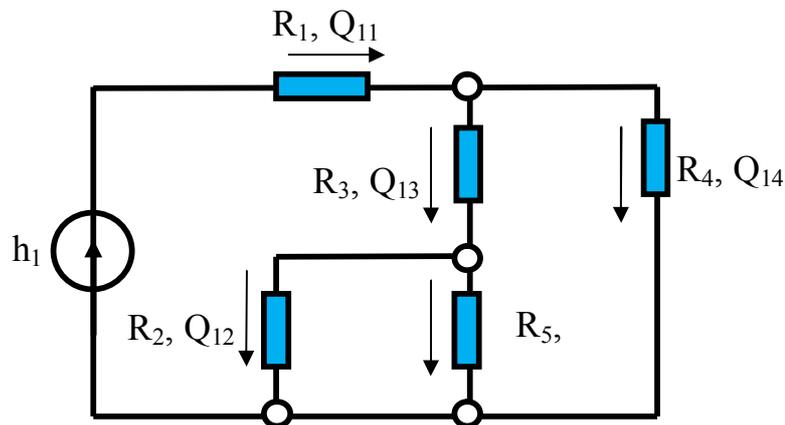


Рисунок 4.11 — Контур основного воздухопотока

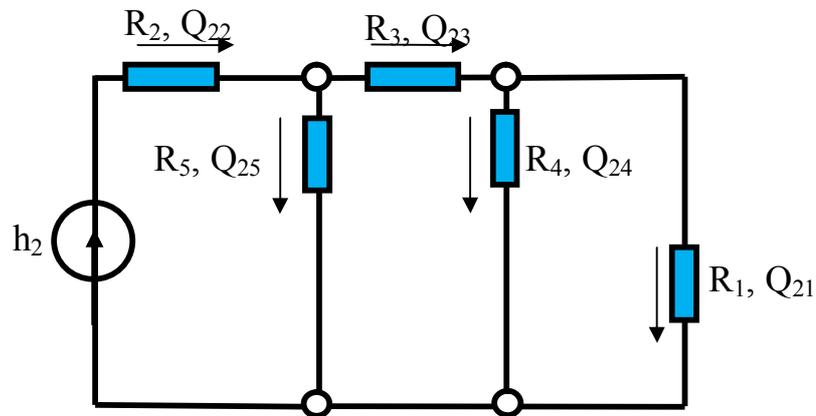


Рисунок 4.12 — Контур подсвежения

В электрических сетях зависимость между падением напряжения и током, протекающим через сопротивление, линейна, а в вентиляционных сетях по основным выработкам и очистным забоям зависимость между дебитом воздуха и депрессией квадратичная, вследствие турбулентного режима движения воздуха. При ламинарном режиме эта зависимость линейная [99].

Учитывая особенность горно-геологических условий пласта k_2 шахты «Молодогвардейская» (наличие труднообрушаемого песчаника в основной кровле и известняка в непосредственной кровле) в выработанном пространстве до осадки кровли не происходит обрушение основной кровли и практически непосредственной кровли, и поэтому движение воздуха будет происходить не в виде фильтрации, а в виде свободных струй. И только через изоляционную полосу вдоль конвейерного штрека будет осуществляться фильтрация утечек. В выработанном пространстве установлен ламинарный режим движения воздуха, согласно проведенным расчетам числа Рейнольдса [100] при применении паруса и без применения паруса.

Таким образом, по методу суперпозиций получена следующая система уравнений [96]:

$$\begin{cases} Q_1 = Q_{11} - Q_{21} \\ Q_2 = -Q_{12} + Q_{22} \\ Q_3 = Q_{13} - Q_{23} \\ Q_4 = Q_{14} + Q_{24} \\ Q_5 = Q_{15} + Q_{25} \end{cases} \quad (4.13)$$

В системе (4.13) расходы воздуха выразим через условные обозначения депрессии по контурам h_{ba_1} , h_{ba_2} , $h_{\delta a_1}$, $h_{\delta a_2}$ и аэродинамические сопротивления. Следует отметить, что в обоих контурах Q_{11} и Q_{22} выражены соответственно через эквивалентные сопротивления $R_{Э1}$ и $R_{Э2}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = \sqrt{\frac{h_{ba_1}}{R_{\exists 1}}} - \sqrt{\frac{h_{ba_2}}{R_1}} \\ Q_2 = -\sqrt{\frac{h_{\delta a_1}}{R_2}} + \sqrt{\frac{h_{\delta a_2}}{R_{\exists 2}}} \\ Q_3 = \sqrt{\frac{h_{ba_1}}{R_3 + R_{25}}} - \sqrt{\frac{h_{\delta a_2}}{R_3 + R_{14}}} \\ Q_4 = \frac{h_{ba_1}}{R_4} + \frac{h_{ba_2}}{R_4} \\ Q_5 = \sqrt{\frac{h_{\delta a_1}}{R_5}} + \sqrt{\frac{h_{\delta a_2}}{R_5}} \end{array} \right. \quad (4.14)$$

Используя систему (4.14), найдено аналитическое выражение Q_3 через $Q_1, Q_2, Q_4, Q_5, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$. При решении этой задачи система (4.14) преобразуется в две подсистемы:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = \sqrt{h_{ba_1}} \cdot \frac{\sqrt{R_4} \cdot \sqrt{R_3 + \frac{R_2 \cdot R_5}{(\sqrt{R_2} + \sqrt{R_5})^2}}}{\sqrt{R_4} + \sqrt{R_3 + \frac{R_2 \cdot R_5}{(\sqrt{R_2} + \sqrt{R_5})^2}}} - \sqrt{h_{ba_2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_1}} \\ Q_4 = h_{ba_1} \cdot \frac{1}{R_4} + h_{ba_2} \cdot \frac{1}{R_4} \end{array} \right. \quad (4.15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_2 = -\sqrt{h_{\delta a_1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \sqrt{h_{\delta a_2}} \cdot \frac{\sqrt{R_5} + \sqrt{R_3 + \frac{R_1 R_4}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_4})^2}}}{\sqrt{R_5} \cdot \sqrt{R_3 + \frac{R_1 R_4}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_4})^2}}} \\ Q_5 = \sqrt{h_{\delta a_1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_5}} + \sqrt{h_{\delta a_2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_5}} \end{array} \right. \quad (4.16)$$

В результате решения системы (4.15) получим:

$$\sqrt{h_{ba_1}} = \frac{Q_1 \cdot \sqrt{R_{\text{Э1}}} - \frac{\sqrt{R_{\text{Э1}}}}{\sqrt{R_1}}}{\frac{R_{\text{Э1}}}{R_1 \cdot R_4} + \frac{1}{R_4}} \cdot \left(\frac{Q_1 \cdot \sqrt{R_{\text{Э1}}}}{\sqrt{R_1}} + \sqrt{\frac{Q_1^2 \cdot R_{\text{Э1}}^2}{R_4^2 \cdot R_1} - \left(\frac{R_{\text{Э1}}}{R_4 \cdot R_1} + \frac{1}{R_4} \right) \cdot \left(\frac{Q_1 \cdot R_{\text{Э1}}}{R_4} - Q_4 \right)} \right) \quad (4.17)$$

Из системы (4.16) выразим $\sqrt{h_{\delta a_2}}$:

$$\sqrt{h_{\delta a_2}} = \frac{Q_5 \cdot \sqrt{R_5} + Q_2 \cdot \sqrt{R_2}}{1 + \sqrt{R_2} \cdot \frac{\sqrt{R_5} + \sqrt{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_4}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_4})^2}}}{\sqrt{R_5} \cdot \sqrt{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_4}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_4})^2}}}} \quad (4.18)$$

Окончательно для прямоточной схемы (рис. 4.5) аналитическое выражение, связывающее количество воздуха, проходящее по лаве Q_3 с дебитами воздуха Q_1, Q_2, Q_4, Q_5 и сопротивлениями выработок R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 , имеет вид:

$$Q_3 = \frac{Q_1 \cdot \sqrt{R_{\text{Э1}}} - \frac{\sqrt{R_{\text{Э1}}}}{\sqrt{R_1}}}{\frac{R_{\text{Э1}}}{R_1 \cdot R_4} + \frac{1}{R_4}} \cdot \left(\frac{Q_1 \cdot \sqrt{R_{\text{Э1}}}}{\sqrt{R_1}} + \sqrt{\frac{Q_1^2 \cdot R_{\text{Э1}}^2}{R_4^2 \cdot R_1} - \left(\frac{R_{\text{Э1}}}{R_4 \cdot R_1} + \frac{1}{R_4} \right) \cdot \left(\frac{Q_1 \cdot R_{\text{Э1}}}{R_4} - Q_4 \right)} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{R_3 + \frac{R_2 \cdot R_5}{(\sqrt{R_2} + \sqrt{R_5})^2}}} -$$

$$- \frac{Q_5 \cdot \sqrt{R_5} + Q_2 \cdot \sqrt{R_2}}{1 + \sqrt{R_2} \cdot \frac{\sqrt{R_5} + \sqrt{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_4}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_4})^2}}}{\sqrt{R_5} \cdot \sqrt{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_4}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_4})^2}}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_4}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_4})^2}}} \quad (4.19)$$

где $R_{\text{Э1}}$ — эквивалентное сопротивление определяется по формуле:

$$R_{\text{Э1}} = R_3 + \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4} \quad (4.20)$$

Для дальнейших расчетов по выработкам для схемы (4.10) использовались измеренные расходы воздуха без применения паруса $Q_1 = 13,98 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_2 = 8,4 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_3 = 5,65 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_4 = 8,3 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_5 = 14 \text{ м}^3/\text{с}$.

Сопротивления выработок, рассчитанные по формуле (9.10) из [1], составили $R_1 = 0,014 \text{ к}\mu$, $R_2 = 0,019 \text{ к}\mu$, $R_5 = 0,01 \text{ к}\mu$. Аэродинамическое сопротивление очистного забоя, оборудованного механизированным комплексом ЗМКД90 с удельным аэродинамическим сопротивлением $r_{100} = 0,06 \text{ к}\mu$, рассчитано

по формуле (4.12) и составило $R_3 = 0,1882 \text{ к}\mu$. В полученной формуле (4.19) для схемы проветривания без применения паруса неизвестным является сопротивление выработанного пространства R_4 . Подставляя полученные значения расходов воздуха и аэродинамических сопротивлений выработок в (4.19), определяем значение аэродинамического сопротивления выработанного пространства без применения паруса $R_4 = 0,048 \text{ к}\mu$.

Сопротивление выработанного пространства R_4 представляется суммой двух сопротивлений: пространства в зоне обрушения $R_{3,0}$ и изоляционной полосы $R_{u,n}$:

$$R_4 = R_{3,0} + R_{u,n} \quad (4.21)$$

Сопротивление изоляционной полосы из-за больших скоростей фильтрации воздуха остается неизменным и при мощности пласта 2,2 м составляет $R_{u,n} = 0,018 \text{ к}\mu$. Сопротивление выработанного пространства в зоне обрушения без применения парусного устройства согласно формуле (4.21) составило:

$$R_{3,0} = 0,048 - 0,018 = 0,030 \text{ к}\mu.$$

При применении паруса расходы воздуха по выработкам, включая и выработанное пространство, составили $Q_1 = 15,03 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_2 = 8,3 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_3 = 8,85 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_5 = 17,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Расход воздуха по выработанному пространству за счет применения паруса уменьшился до $Q_4 = 6,18 \text{ м}^3/\text{с}$. Скорость воздуха в выработанном пространстве уменьшилась в 1,34 раза с 0,50 м/с до 0,34–0,37 м/с. Согласно закону Гагена-Пуазейла при ламинарном режиме уменьшение скорости движения воздуха (числа Рейнольдса) приводит к существенному, по параболе, росту коэффициента аэродинамического сопротивления α (рис. 7.3 [100]) в 1,50 раза.

В общем виде сопротивление выработанного пространства можно представить формулой, приведенной в [100]:

$$R = \frac{\alpha \cdot P}{S^3} \quad (4.22)$$

где P — периметр воздухопроводящей полосы выработанного пространства;
 S — площадь сечения воздухопроводящей полосы выработанного пространства.

Параметры P и S в эксперименте оставались постоянными, поэтому сопротивление выработанного пространства увеличилось прямо пропорционально изменению коэффициента α . Отсюда, аэродинамическое сопротивление зоны обрушения выработанного пространства с применением паруса $R_{з.о.п}$ составляет:

$$R_{з.о.п} = 1,5R_{з.о.б.п} = 1,5 \cdot 0,030 = 0,045 \text{ кμ},$$

где $R_{з.о.п} = R_{з.о.}$, определенное ранее.

Полное сопротивление выработанного пространства при применении паруса составит: $R_4 = 0,045 + 0,018 = 0,063 \text{ кμ}$. После подстановки всех расчетных и фактических значений в формулу (4.19) сопротивление очистного забоя составит $R_3 = 0,082 \text{ кμ}$. Используя рассчитанное значение R_3 и формулу (4.12) из [1], определено удельное аэродинамическое сопротивление лавы с парусным устройством: $r_{100} = 0,02 \text{ кμ}$.

Установлено, что при оборудовании механизированной крепи ЗМД90Т парусным устройством, ее удельное аэродинамическое сопротивление уменьшилось на 60 % с 0,06 кμ до 0,02 кμ. Изолирование парусной перегородкой пространства крепи с повышенным аэродинамическим сопротивлением от рабочей зоны привело к уменьшению сечения для пропускания воздушного потока. Сечение в свету $S_{оч}$ уменьшилось на 11 % с 5,15 м² ([1], табл.6.5) до 4,60 м². Тем не менее расход воздуха в очистном забое увеличился с 5,65 до 8,85 м/с. Утечки воздуха в выработанное пространство сократились с 8,30 до 6,18 м/с.

Из полученных результатов следует необходимость испытания парусного устройства для оценки его технологической эффективности.

4.5 Обоснование длины лавы при использовании механизированной крепи с парусным устройством

Длина лавы является основным элементом системы разработки [37]. Увеличение длины лавы приводит к сокращению количества циклов конечных операций и, следовательно, к увеличению машинного времени работы механизированного комплекса и росту угледобычи. Существенно сокращаются расходы на 1 т добываемого угля за счет сокращения затрат на проведение, поддержание подготовительных выработок и на транспортировку угля по шахте. В целом, как отмечается в работе [37], улучшаются показатели работы шахты — увеличивается ее удельная прибыль.

На газоносных пластах увеличение длины лавы приводит к последовательной цепочке взаимосвязанных факторов, которые снижают эффективность угледобычи: увеличивается общее аэродинамическое сопротивление очистной выработки, уменьшается расход воздуха и соответственно сокращается допустимый уровень производительности механизированного комплекса по газовому фактору.

Таким образом, при проектировании технологической схемы отработки выемочного участка в обосновании длины лавы необходимо учитывать перечисленные факторы, которые оказывают противоположное влияние на эффективность ведения очистных работ.

Проблемой использования современных комплексов является сравнительно большое расхождение между высоким уровнем технической производительности механизированных комплексов и допустимым уровнем его реализации по газовому фактору. Средний по отрасли технический уровень производительности механизированного комплекса устанавливается нормативами нагрузки [6], который корректируется по условиям проектируемого выемочного участка коэффициентом k_l , учитывающим длину лавы.

Наиболее точно можно установить технический уровень производительности механизированного комплекса по результатам работы лавы-аналога, длина которой составляет 250 м.

Длину лавы для каждого варианта проектируемого выемочного участка устанавливаем расчетом в следующей последовательности:

- определяем аэродинамическое сопротивление лавы R_1 по формуле (4.12);
- определяем расход воздуха в исходящей струе из лавы $Q_{л.штр}$ при возможных депрессиях вентилятора главного проветривания по формуле (4.11);
- рассчитываем предельное среднее значение метанообильности по формуле:

$$I_{пред.i} = \left(\frac{Q_{л.штр.i} (C - C_o)}{194} \right)^{1,16}; \quad (4.23)$$

- рассчитываем предельное значение производительности механизированного комплекса по газовому фактору [1] для лавы-аналога при длине лавы 250 м:

$$A_{пред. 250} = A_{250} \left(\frac{I_{пред. 250}}{I_{250}} \right)^{1,67}, \quad (4.24)$$

для остальных возможных длин лавы:

$$A_{пред. i} = A_{пред. 250} \left(\frac{I_{пред.i}}{I_{пред. 250}} \right)^{1,67} \cdot \left(\frac{\ell_{250}}{\ell_i} \right)^{0,67}, \quad (4.25)$$

где $A_{пред. 250}$, $I_{пред. 250}$ — предельные значения при длине лавы 250 м соответственно суточной нагрузке по производительности очистного забоя и средней метанообильности на исходящей струе их очистного забоя (принимаем по результатам применения парусного устройства в лаве-аналоге);

ℓ_{250} , ℓ_i — длина лавы соответственно равная 250 м и возможные проектные значения (от 150 до 300 м);

- фиксируем достигнутый по лаве-аналогу технический уровень суточной производительности $A_{техн}$ при длине лавы 250 м;

– рассчитываем технический уровень суточной производительности $A_{техн.i}$ при всех возможных вариантах длин лав путем корректировки значения $A_{техн}$ с помощью нормативных коэффициентов k_l [6];

– для каждого возможного варианта длины лавы устанавливаем отношение $A_{техн.i}$ к $A_{пред.i}$:

$$k_{p.n} = \frac{A_{пред.i}}{A_{техн.i}} \rightarrow 1 \quad (4.26)$$

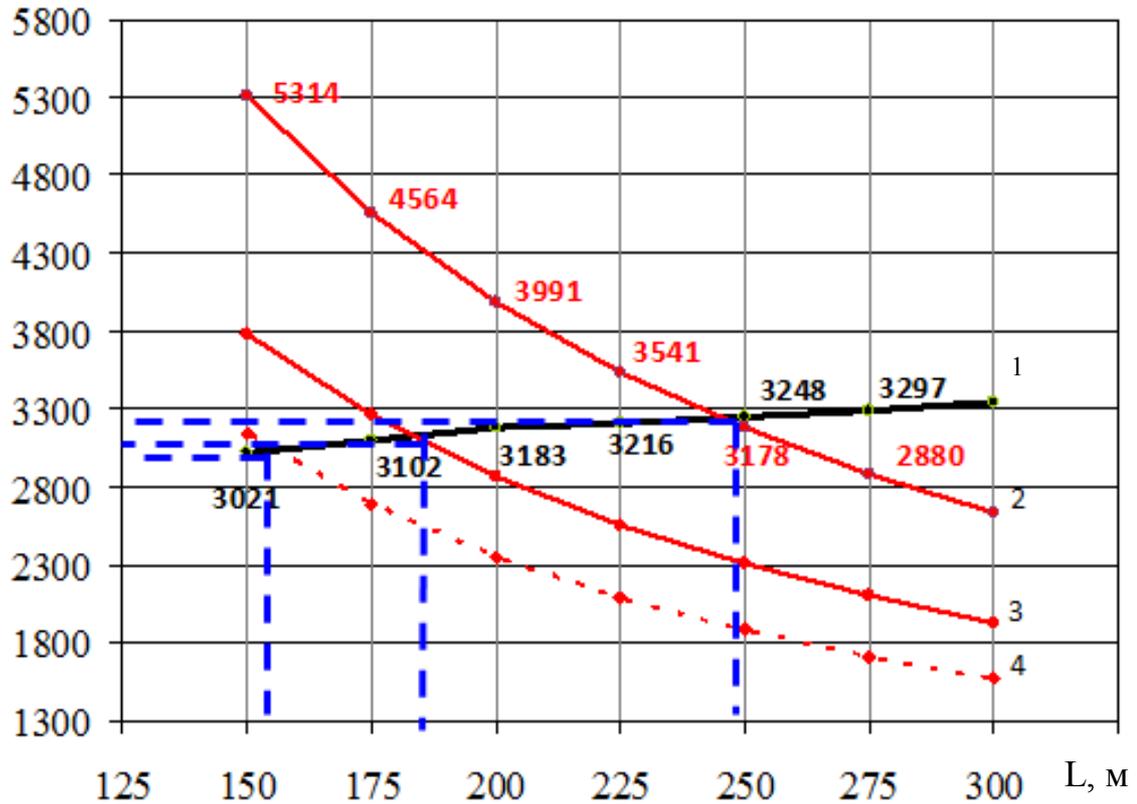
При $k_{p.n} < 1$ технический потенциал производительности используется не в полной мере. Необходимо снижение длины лавы или увеличение расхода воздуха. При $k_{p.n} > 1$ — затраты на проветривание выемочного участка завышены. В этом случае необходимо снижение расхода воздуха по лаве или увеличение длины лавы.

На рисунке 4.13 представлена зависимость производительности механизированного комплекса в зависимости от длины лавы, рассчитанная по изложенной выше методике, при депрессиях вентилятора главного проветривания 11 даПА и 6 даПА с применением и без применения парусного устройства. Потенциал технической производительности механизированного комплекса $A_{техн}$ определен для различных длин лав с помощью нормативных корректировочных коэффициентов k_l [6], значения которых приведены в таблице 4.4. На рисунке 4.13 приведена кривая, рассчитанная при скорости подачи комбайна 1 м/мин.

Таблица 4.4 — Значения коэффициентов корректировки k_l

Скорость подачи комбайна, V, м/мин	Длина лавы				
	100	150	200	250	300
1,0	0,87	0,95	1,0	1,03	1,05
2,0	0,80	0,92	1,0	1,05	1,09
3,0	0,75	0,90	1,0	1,07	1,13

A, т/сут



- 1 – потенциал технической производительности механизированного комплекса;
 предел производительности механизированного комплекса по газовому фактору при:
 2 – депрессии 11 даПА с парусным устройством;
 3 – депрессии 6 даПА с парусным устройством;
 4 – депрессии 6 даПА без парусного устройства.

Рисунок 4.13 — Выбор длины лавы по условию реализации технического потенциала производительности механизированного комплекса на высокогазоносных пластах

При депрессии 6 даПА без парусного устройства оптимальная по газовому фактору длина лавы составляет 160 м, применение парусного устройства позволяет увеличить длину лавы до 185 м. При изменении длины лавы с 160 до 245 м техническая производительность механизированного комплекса увеличивается с 2900 до 3250 т/сут (на 12,1 %).

Предложенная методика обоснования выбора длины лавы включает использование разработанных технико-технологических решений:

– методику оперативного прогнозирования потенциала суточной производительности механизированного комплекса по газовому фактору для

определения предела производительности механизированного комплекса по газовому фактору;

– применение технологических схем отработки выемочного участка, обеспечивающих наиболее эффективные схемы проветривания типа 3-В-Н-н-пт;

– применение парусного устройства в механизированных крепях для повышения эффективности схем проветривания и потенциала производительности по газовому фактору;

– оптимизацию длины лавы выемочного участка из условия максимальной реализации технического ресурса производительности механизированного комплекса.

Выводы по разделу 4

1. Оперативный прогноз потенциала суточной производительности механизированного комплекса по газовому фактору позволяет рассчитать объем и длительность периода компенсации потерь угледобычи из-за простоев очистного оборудования; установить плановую нагрузку на механизированный комплекс на высокогазоносных пластах при условии полного использования потенциала производительности по газовому фактору; определить длительность периода компенсации потерь добычи после очередного сбоя работы технологической схемы шахты.

2. Выполненный анализ рекомендуемых для отработки высокогазоносных пластов схем проветривания лав показал, что схема 3-В-Н-н-пт с газоотводом обеспечивает минимальную метанообильность очистного забоя за счет метановыделения только из призабойного пространства. Однако эффективность схемы снижается из-за высоких уровней утечек воздуха в выработанное пространство.

3. Для обеспечения схемы проветривания 3-В-Н-н-пт с газоотводом обоснованы требования к технологической схеме отработки выемочного участка: бремсберговая часть шахтного поля, столбовая система отработки выемочного

участка обратным ходом; повторное использование подготовительных выработок, охрана выработок со средствами изоляции утечек воздуха.

4. Предложено техническое решение по снижению утечек воздуха в выработанное пространство очистного забоя за счет применения изолирующего парусного устройства, сооруженного по всей длине лавы.

5. С применением метода электрогидродинамических аналогий разработана математическая модель, позволяющая оценивать распределение воздуха в лаве с применением и без применения изолирующего парусного устройства.

6. С использованием построенной математической модели доказано, что применение парусного устройства уменьшает удельное сопротивление механизированной крепи ЗМД90Т на 60 %, что позволяет повысить расход воздуха в очистном забое и за счет этого увеличить предельно допустимую нагрузку по газовому фактору.

7. Снижение аэродинамического сопротивления механизированной крепи с помощью разработанной технологии парусного разделения газоздушных потоков призабойного и выработанного пространств позволяет расширить область применения прямоточных схем проветривания с направлением исходящей струи на выработанное пространство, рекомендуемых действующими нормативными документами для отработки высокогазоносных пластов.

8. При проектировании технологии отработки выемочного участка на высокогазоносных угольных пластах выбор длины лавы должен основываться на максимально возможной реализации технического ресурса производительности механизированного комплекса за счет повышения допустимого потенциала производительности по газовому фактору.

9. Критерий оптимизации длины лавы заключается в максимальном приближении предела нагрузки по газовому фактору к техническому пределу производительности механизированного комплекса и обеспечивает повышение угледобычи на 12 % за счет минимизации простоев по газовому фактору.

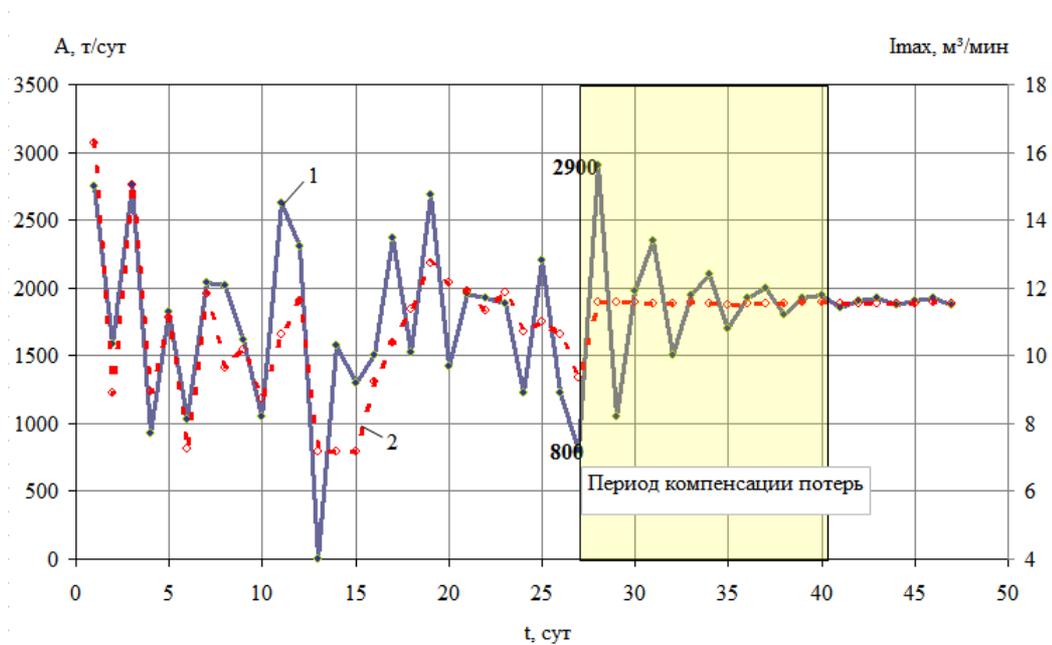
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Планирование суточной производительности механизированного комплекса с учетом газового фактора

Опробование разработанной в разделе 4 методики прогнозирования потенциала суточной производительности механизированного комплекса по газовому фактору выполнено по данным мониторинга отработки выемочного участка 28-ой орловской лавы пласта k_2 ш. «Молодогвардейская» ПП «ш/у «Краснодонуголь».

Предельное значение метанообильности, рассчитанное по формуле (4.1), при расходе воздуха $Q_{оч} = 1156 \text{ м}^3/\text{мин}$ составило $11,56 \text{ м}^3/\text{мин}$.

В таблице 5.1 промоделирована ситуация на 21.01.08 с целью компенсации потерь добычи за прошлые сутки. На рисунке 5.1 представлена визуализация этой ситуации. Простой составил более двух смен из-за аварийной ситуации на шахте. Прогнозный потенциал на 21.01.08 производительности составил 2900 т/сут .



1 — угледобыча A , т/сут; 2 — максимальная метанообильность I_{\max} , $\text{м}^3/\text{мин}$

Рисунок 5.1 — Моделирование компенсации потерь добычи 21.01.08

Таблица 5.1 — Цифровая модель компенсации потерь добычи 21.01.08

№	дата	Исходные данные						РАСЧЕТ метанообильности				Предел max
		метанообильность			угледобыча			среднее	εt-1	среднее	max	
		среднее	СКО	max	At	At-1	At-2	по добыче		форм.(3.11)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
22	16.01.08	8.11	1.45	10.63	1929	1951	1416	7.10	0.53	7.58	11.34	11.56
23	17.01.08	9.18	1.00	11.13	1889	1929	1951	7.72	1.04	8.14	11.85	11.56
24	18.01.08	7.98	0.98	9.22	1228	1889	1929	6.95	0.19	7.79	10.72	11.56
25	19.01.08	8.30	1.19	10.75	2208	1228	1889	6.77	1.38	6.93	11.01	11.56
26	20.01.08	9.14	1.30	11.70	1228	2208	1228	6.58	1.45	7.69	10.62	11.56
27	21.01.08	7.88	0.77	9.60	800	1228	2208	5.76	0.95	6.93	9.36	11.56
28	22.01.08	0.00	0.00	0.00	2900	800	1228	5.90	2.27	6.66	11.56	11.56
29	23.01.08	0.00	0.00	0.00	1050	2900	800	7.01	0.26	8.84	11.56	11.56
30	24.01.08	0.00	0.00	0.00	1975	1050	2900	7.55	0.26	7.76	11.57	11.56
31	25.01.08	0.00	0.00	0.00	2350	1975	1050	7.09	0.26	7.30	11.55	11.56
32	26.01.08	0.00	0.00	0.00	1500	2350	1975	8.06	0.26	8.27	11.53	11.56
33	27.01.08	0.00	0.00	0.00	1950	1500	2350	7.57	0.26	7.78	11.56	11.56
34	28.01.08	0.00	0.00	0.00	2100	1950	1500	7.38	0.26	7.59	11.55	11.56
35	29.01.08	0.00	0.00	0.00	1700	2100	1950	7.81	0.26	8.02	11.51	11.56
36	30.01.08	0.00	0.00	0.00	1925	1700	2100	7.56	0.26	7.77	11.52	11.56
37	31.01.08	0.00	0.00	0.00	2000	1925	1700	7.50	0.26	7.71	11.55	11.56
38	01.02.08	0.00	0.00	0.00	1800	2000	1925	7.71	0.26	7.92	11.53	11.56
39	02.02.08	0.00	0.00	0.00	1925	1800	2000	7.60	0.26	7.81	11.56	11.56
40	03.02.08	0.00	0.00	0.00	2000	1925	1800	7.58	0.26	7.79	11.57	11.56
41	04.02.08	0.00	0.00	0.00	1800	2000	1925	7.68	0.26	7.89	11.55	11.56
42	05.02.08	0.00	0.00	0.00	1900	1800	2000	7.59	0.26	7.80	11.52	11.56
43	06.02.08	0.00	0.00	0.00	1925	1900	1800	7.57	0.26	0.78	11.53	11.56
44	07.02.08	0.00	0.00	0.00	1875	1925	1900	7.63	0.26	7.84	11.53	11.56
45	08.02.08	0.00	0.00	0.00	1900	1875	1925	7.60	0.26	7.81	11.53	11.56
46	09.02.08	0.00	0.00	0.00	1925	1900	1875	7.61	0.26	7.81	11.57	11.56
47	10.02.08	0.00	0.00	0.00	1875	1925	1900	7.63	0.26	7.84	11.53	11.56

Как следует из моделирования динамики добычи, период компенсации угледобычи за счет полной реализации потенциала производительности по газовому фактору составил 9 суток. Из расчетов следует, что после 9-х суток использования потенциала производительности происходит затухание колебаний угледобычи возле среднего значения 1900 т/сут.

Фактические показатели работы механизированного комплекса ЗМКД90Т характеризуются высокой неравномерностью производительности с коэффициентом вариации $K_{\text{вар}}=36,2\%$. Для прогнозных данных коэффициент вариации составляет 24 % (табл. 5.2).

Таблица 5.2 — Статистические показатели производительности механизированного комплекса

Период работы	Аср, т/сут	СКО, т/сут	$K_{\text{вар}}$, %	Длительность периода, сут
до применения прогноза	1791	640	36	27
после применения прогноза	1926	467	24	14

Несмотря на то, что в процессе отработки выемочного участка предпринимались постоянно попытки компенсировать потери добычи во время простоев, средний уровень угледобычи по фактическим данным составил 1791 т/сут и был ниже прогнозного 1926 т/сут на 7,5 %.

Амплитуда компенсационных всплесков достигала высоких уровней угледобычи: до 2700–3248 т/сут. При этом максимальные фактические значения угледобычи были часто выше установленного текущего потенциала производительности по газовому фактору, что сопровождалось в 3-ю добычную смену срабатываниями аппаратуры АГК. В то время как более равномерная работа механизированного комплекса без превышения предельной метанообильности прогнозируется со значительно меньшей вариацией добычи и большим средним уровнем производительности.

Таким образом, реализация разработанной методики оперативного прогнозирования потенциала суточной производительности механизированного комплекса по газовому фактору позволяет повысить производительность механизированного комплекса по добыче и обеспечить более равномерный режим эксплуатации технологической схемы шахты.

Прогнозное значение уровня добычи 1900 т/сут, возле которого стабилизируется колебание добычи, следует признать максимально допустимым по газовому фактору A_{\max} для данных условий отработки выемочного участка.

Моделирование компенсации потерь угледобычи за счет простоев механизированного комплекса было расширено на весь диапазон возможных потерь угледобычи. Объемы потерь и их компенсация рассчитывались относительно принятой максимально допустимой нагрузки по газовому фактору $A_{\max}=1900$ т/сут.

Фактический объем добычи за период компенсации рассчитывался по формуле:

$$D_k = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (5.1)$$

где n — количество суток в период компенсации;

A_i — текущее значение угледобычи, т/сут.

Предельно допустимый объем добычи по газовому фактору за период компенсации:

$$D_{\partial} = A_{max} \cdot n \quad (5.2)$$

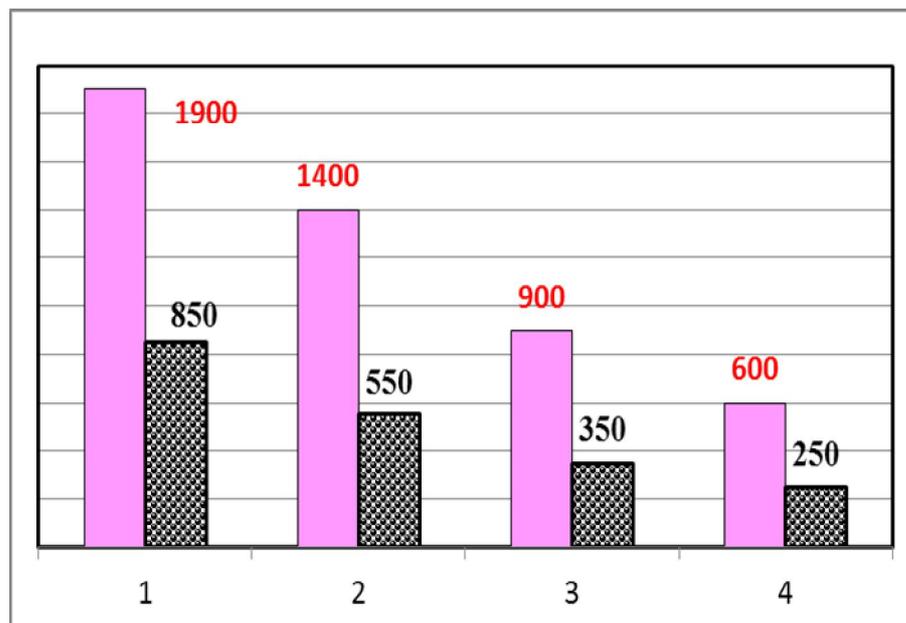
Восполненный объем добычи за сутки, в течение которых был простой:

$$\Delta A_{сут} = \sum_{i=1}^n A_i - A_{max} \cdot n \quad (5.3)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 5.3 и на рисунке 5.2. Восполняемый объем потерь составляет от 39 до 45 % от потери угледобычи. Период компенсации определялся по прогнозным значениям потенциала производительности механизированного комплекса (рис. 5.1).

Таблица 5.3 — Моделирование компенсации потерь угледобычи

Ситуации	A , т/сут	Потеря угледобычи, т/сут	$\Delta A_{сут}$	Восполняемый объем потерь, %	Период компенсации, сут.
1	0	1900	850	44,7	15
2	500	1400	550	39,3	9
3	1000	900	350	38,9	8
4	1300	600	250	41,7	6



— потери угледобычи, т/сут;
 — восполненный объем угледобычи, т/сут.

Рисунок 5.2 — Компенсация потерь угледобычи

Из приведенного анализа оценки фактической динамики суточной угледобычи и эффективности предлагаемой методики прогноза потенциала производительности механизированного комплекса следует, что попытки компенсировать потери добычи за время простоев путем экстремально высоких нагрузок на очистное оборудование приводят к частичному от 39 до 45 % выполнению. При этом создается весьма неравномерный режим эксплуатации шахтного оборудования, сопровождающийся частыми отключениями электроэнергии при срабатывании АГК. Реализация потенциала производительности механизированного комплекса в текущем режиме позволяет согласно результатам моделирования компенсации простоев повысить угледобычу механизированного комплекса и снизить динамику колебаний угледобычи (ее неравномерность).

5.2 Опытно-промышленная проверка эффективности парусного устройства применительно к крепи 3М90Т

Опытно-промышленная проверка предложенного парусного устройства производилась в 29 орловской лаве пласта k_2 шахты «Молодогвардейская» ПО «Краснодонуголь». Выемочный участок отрабатывался по следующей технологической схеме:

- механизированный комплекс 3 МКД90Т с выемочным комбайном 2ГШ68;
- система разработки: столбовая с отработкой обратным ходом;
- охрана конвейерного штрека, обеспечивающая его повторное использование: 2 ряда БЖБТ и 2 ряда СКУ (сборной крепи усиления) с окнами через 25 м;
- охрана воздухоподающего штрека: по паспорту охраны конвейерного штрека;
- транспортная цепочка конвейерного штрека: ленточные конвейеры 1ЛТ 100;
- схема проветривания 3-В-Н-н-пт с газоотводом.

Выемка угля производилась по односторонней схеме сверху вниз. Секции крепи передвигались вслед за комбайном.

Эффективность использования парусного устройства оценивалась по следующим показателям:

- расход воздуха в призабойном пространстве ($Q_{оч}$), м³/мин;
- коэффициент утечек воздуха в выработанное пространство ($k_{ут}$);
- метанообильность конвейерного штрека на исходящей струе из очистного забоя;
- предельное значение метанообильности исходящей струи из очистного забоя, заданное настройкой срабатывания газовой защиты;
- $k_{уд.ср.}$ – удельное количество срабатываний газовой защиты (количество срабатываний, отнесенное ко времени отработки экспериментального участка наблюдений);
- производительность механизированного комплекса;
- коэффициент машинного времени.

Перечисленные показатели сравнивались по двум участкам наблюдений: с применением парусного устройства (длина участка 80 м) и без применения парусного устройства (длина участка 100 м). Парусное устройство было навешено по всей длине лавы. Стыковка сегментов парусного устройства производилась по схеме (рис. 4.9 а).

Оценка расхода воздуха и метанообильности производилась по методике, изложенной в разделе 2 по замерным пунктам выемочного участка (рис. 5.3). Дополнительно производились контрольные газовые съемки по методике [101].

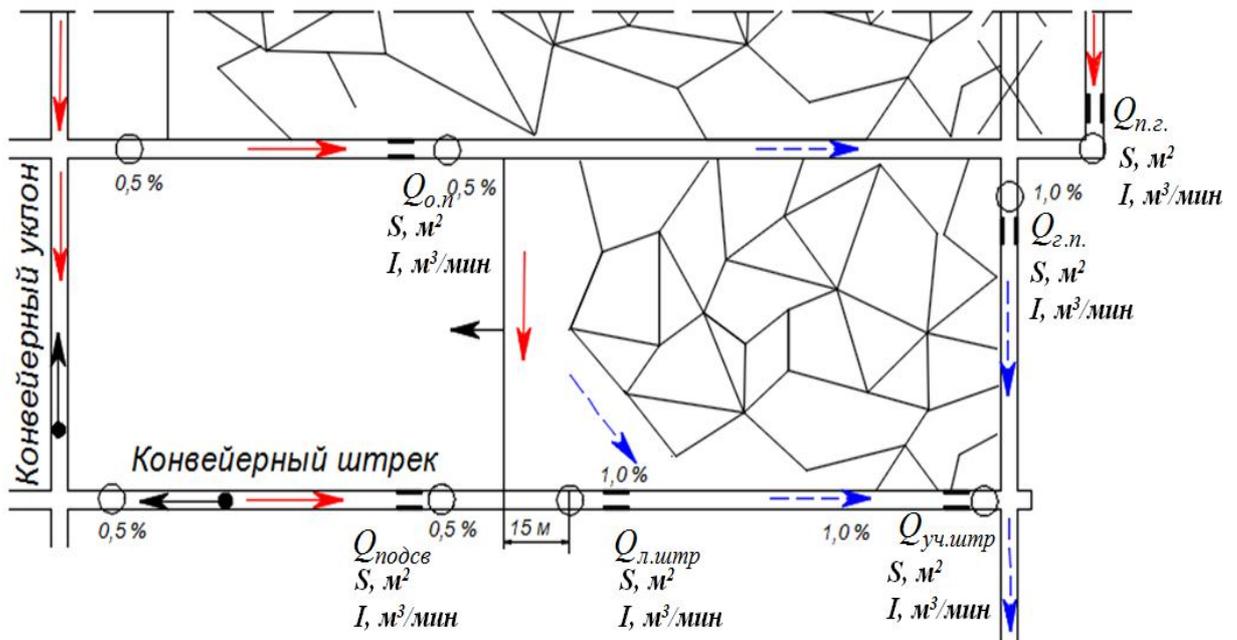


Рисунок 5.3 — Схема расположения замерных пунктов контроля метановоздушной среды

По двум сравниваемым участкам наблюдений получены следующие результаты. Замеренные и рассчитанные значения расходов приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 — Перераспределение воздуха на участках наблюдений

№	Расход воздуха	Количество воздуха, м ³ /мин	
		без паруса	с парусом
1	$Q_{o.n}$	950	973
2	$Q_{подсв}$	501	500
3	$Q_{уч}$	1451	1473
4	$Q_{л.п}$	839	902
5	$Q_{уч.штр}$	1340	1402
6	$Q_{л.штр}$	840	1031
7	Q_2	111	71
8	$Q_{ут.в.}$	500	371

Расчет значений расходов воздуха производился по следующим формулам.

На газоотвод по неподдерживаемому вентиляционному штреку:

$$Q_{\Gamma} = Q_{\Gamma.п} - Q_{п.г}. \quad (5.4)$$

В исходящей струе из очистного забоя:

$$Q_{оч} = Q_{уч.штр} - Q_{подсв}. \quad (5.5)$$

Утечки воздуха из очистного забоя:

$$Q_{ут.в.} = Q_{л.п} - Q_{оч}. \quad (5.6)$$

В явном виде экспериментально определить $k_{ут.в}$ сложно из-за неизвестного коэффициента $k_{оз}$, поэтому определено отношение этих коэффициентов:

$$\frac{k_{ут.в.}}{k_{оз}} = \frac{Q_{уч} - Q_{подсв} - Q_{г}}{Q_{оч}} \quad (5.7)$$

Соотношения этих коэффициентов составили соответственно с парусом и без паруса 1,70 и 2,47. Количество воздуха, проходящего непосредственно по призабойному пространству без паруса составило $Q_{оч} = 839 - 500 = 339 \text{ м}^3/\text{мин}$, с парусом $Q_{оч} = 1031 - 500 = 531 \text{ м}^3/\text{мин}$. Отсюда следует, что парусное устройство позволило существенно улучшить проветривание очистного забоя — коэффициент утечек воздуха уменьшился в 1,45 раза, а величина $Q_{оч}$ увеличилась в 1,56 раза.

Контроль производительности и количества срабатываний аппаратуры автоматического газового контроля производились по методике (разд. 2). Коэффициент машинного времени рассчитывался по данным хронометражных наблюдений для добычных смен как отношение времени работы механизированного комплекса по добыче к общему рабочему времени смен $k_{м.в.}$

Результаты наблюдений по производительности механизированного комплекса приведены в таблицах 5.5 и 5.6.

Таблица 5.5 — Показатели работы механизированного комплекса на участке без применения парусного устройства

Показатели	Смены				Сутки
	1	2	3	4 (ремонтная)	
Добыча, т	397	522	619	173	1711
Коэффициент машинного времени	0,27	0,32	0,41	-	0,33
Метанообильность, м ³ /мин	5,09	5,32	5,50	4,98	5,22
Удельное количество срабатываний АГК, шт/сут	1,03	1,40	1,89	0,71	5,03

Таблица 5.6 — Показатели работы механизированного комплекса на участке с применением парусного устройства

Показатели	Смены				Сутки
	1	2	3	4 (ремонт)	
Добыча, т	663	750	642	112	2167
Коэффициент машинного времени	0,41	0,46	0,43	-	0,43
Метанообильность, м ³ /мин	5,38	5,66	5,86	5,35	5,56
Удельное количество срабатываний АГК шт/см, шт/сут	0,05	0,23	0,55	0,14	0,95

На участке с применением парусного устройства произошло повышение производительности механизированного комплекса на 26,7 % с 1711 т/сут до 2167 т/сут. Несмотря на то, что абсолютная метанообильность очистного забоя с применением парусного устройства увеличилась, удельное число срабатываний АГК (среднее за сутки) уменьшилось более чем в 5 раз и, как следствие, увеличился коэффициент машинного времени на 30,3 % (рис. 5.4). Очевидно, что снижение числа $k_{уд.ср}$ вызвано увеличением $Q_{оч}$ и, соответственно, увеличением $I_{пред}$.

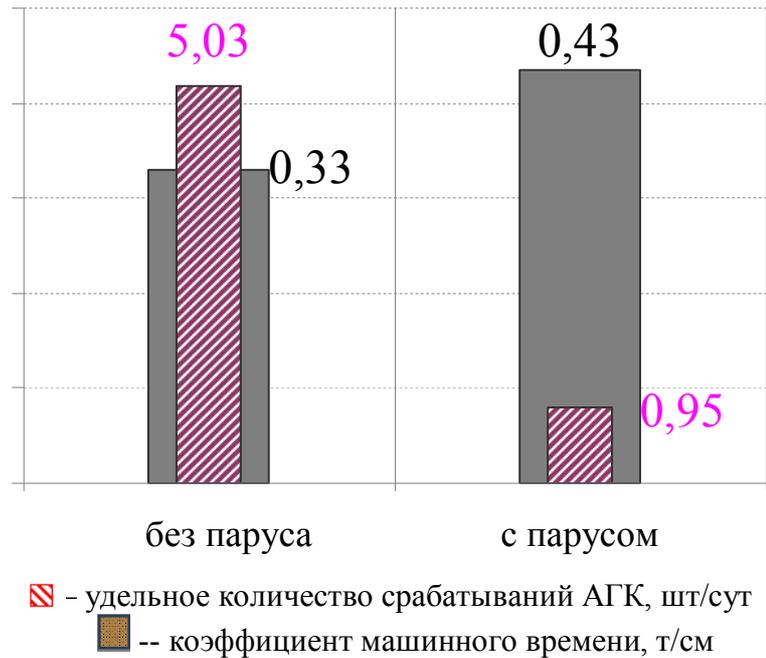


Рисунок 5.4 — Влияния парусного устройства на коэффициент машинного времени работы очистного забоя и удельное количество срабатываний АГК

Следует отметить положительный эффект применения парусного устройства, заключающийся в повышении устойчивости работы очистного забоя по добыче: коэффициент вариации суточной добычи (без учета добычи в ремонтную смену) уменьшился с 48,4 % до 26,9 %, т.е. в 1,8 раза.

Годовой ожидаемый эффект от использования технико-технологических решений составил 3294000 грн по состоянию на 2012 г., в ценах 2023 г. — 6179462 руб. Расчет приведен в Приложении В. Результаты исследований рассмотрены межведомственной комиссией от организаций ш. «Молодогвардейская» и «Донбасского государственного технического университета». Комиссия рекомендовала к использованию разработанные инновационные технико-технологические решения для отработки высокогазоносных угольных пластов (протокол опытно-промышленной проверки и акт приемки в эксплуатацию приведен в Приложении В).

Выводы по разделу 5

1. Проведена оценка потенциала суточной производительности механизированного комплекса, основанная на методике расчета возможной компенсации потерь добычи из-за влияния газового фактора.

2. Реализация предложенной методики на примере 28-ой орловской лавы ш. «Молодогвардейская» показала, что она обеспечивает стабилизацию уровня суточной добычи из лавы за счет уменьшения коэффициента ее вариации с 36 % до 24 %, а затухание колебаний объемов добычи происходит вокруг среднего значения 1900 т/сут. Это значение и следует принимать за уровень угледобычи, обеспечивающий стабильную работу лавы. Возможная компенсация потерь добычи находится в пределах от 250 до 850 т/сут в зависимости от длительности простоя. Объем компенсации потерь добычи составляет 39-45 % за счёт реализации потенциала производительности.

3. Опытно-промышленная проверка изолирующего парусного устройства в 29-ой орловской лаве ш. «Молодогвардейская» показала увеличение количества воздуха, поступающего в лаву на 7 %, уменьшение утечек в выработанное пространство по длине лавы в среднем на 31 %, что увеличило количество воздуха, проходящего по призабойному пространству на 57 %.

4. Применение изолирующего парусного устройства в 29-ой орловской лаве уменьшило удельное число срабатываний АГК в 5 раз, что увеличило коэффициент машинного времени механизированного комплекса на 30 %.

5. Применение парусного устройства позволяет уменьшить коэффициент вариации суточной добычи на 44 % (с 48 % до 27 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена научно-техническая задача обоснования параметров технологии отработки высокогазоносных угольных пластов, обеспечивающих повышение производительности механизированных комплексов.

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Аналитический обзор выполненных к настоящему времени исследований показал, что при больших объемах добычи возрастают отрицательные последствия от простоев и нестабильности работы лав. При этом показано, что действующий нормативный документ [1] дает в несколько раз большие расчетные значения метановыделения по сравнению с фактическими, что ведет к необоснованному занижению максимально допустимой нагрузки по газовому фактору. Поэтому совершенствование методов прогноза метановыделения лав является актуальной задачей.
2. Установлен неоднозначный характер взаимосвязи между уровнем метановыделения в лаве и среднесуточной добычей или скоростью подвигания очистного забоя. Согласно одним утверждениям, в интервале высоких нагрузок на лаву их метанообильность растет, по другим данным — она уменьшается или остается практически неизменной. В связи с этим, возникает сложность с обоснованием допустимых по газовому фактору уровней добычи из высокопроизводительных лав, а также принятием технико-технологических решений по стабилизации их работы.
3. Разработана методика проведения шахтных инструментальных наблюдений за величинами метановыделения в лавах и сопутствующими ей факторами, предусматривающая период мониторинга экспериментальных данных, охватывающий не менее 5-ти осадок основной кровли с шагом замеров 1 час. По этой методике в 28-ой орловской лаве ш. «Молодогвардейская» зафиксировано 3216 значений метановыделения, интенсивности акустической эмиссии и среднечасовой добычи. Дополнительно по 28-ой, 17-ой и 29-ой орловским лавам фиксировались среднесуточные данные по метанообильности, угледобыче и

акустической эмиссии в общей сложности в течение 1035 суток. Полученный объем экспериментальных шахтных наблюдений является представительным, что способствует повышению объективности установленных при их обработке закономерностей.

4. Анализ построенных временных рядов метановыделения показал, что данный процесс является нестационарным динамическим и для исследования его внутренней структуры необходимо применять методы спектрального анализа.

5. Установлено, что динамический ряд метановыделения содержит трендовую, циклические и случайную компоненты. При этом спектральный анализ показал, что изменение интенсивности акустической эмиссии и среднесуточной добычи вызывает с запаздыванием на 2–3 суток согласованные изменения значений метановыделения.

6. Показано, что увеличение среднесуточной нагрузки на лаву в диапазоне высоких ее значений ведет к снижению средних значений выделения метана и росту его дисперсии. В итоге метановыделение во всех диапазонах изменения среднесуточной добычи увеличивается.

7. Кросс-спектральный анализ динамических рядов метановыделения показал, что низкочастотные колебания объясняются влиянием периодических изменений напряженно-деформированного состояния массива горных пород, а высокочастотные — изменчивостью организационных и производственных факторов.

8. Установлено, что при увеличении нагрузки на очистной забой в спектрах угледобычи и метановыделения возникает значимая когерентность частот с периодом 24, 12 и 6 часов, свидетельствующая об определяющем вкладе технологических и организационных циклов угледобычи в детерминированность процесса метановыделения.

9. Установлено, что каждое суточное значение угледобычи оказывает значимое влияние на метановыделение в течение 2–3 последующих суток и эта закономерность описывается статистической моделью с распределенным лагом.

10. Влияние суточной угледобычи на метановыделение проявляется в течение 2-3 суток и описывается регрессионной моделью с распределенным лагом, что позволяет использовать ее для текущего прогноза предела нагрузки на механизированный комплекс по газовому фактору.
11. Разработанная модель прогноза метановыделения в очистном забое с распределенным лагом учитывает как трендовые, так и высокочастотные составляющие. При этом точность прогноза составляет 10-15 %, что в 2 раза выше в сравнении с действующим нормативным документом (23–29 %). В случае, если текущие прогнозные значения отличаются от фактических на величину более 30 %, предусмотрена корректировка параметров модели с помощью разработанной программы на языке Python, который свободно устанавливается на различные операционные системы.
12. Аэродинамическое сопротивление очистного забоя уменьшается путем изолирования зоны повышенного аэродинамического сопротивления механизированной крепи (элементов конструкции ограждения, задней гидростойки и сети высоконапорных шлангов) от воздушного потока лавы, что позволяет повысить расход воздуха в очистном забое, и за счет этого увеличить предельно допустимую нагрузку по газовому фактору.
13. На основе существующей аналогии между разностью электрических потенциалов и депрессией, удельным электрическим и аэродинамическим сопротивлением, плотностью тока и скоростью фильтрации получена аналитическая модель распределения воздуха в горных выработках с применением и без применения парусного устройства в лаве. С ее помощью доказана возможность снижения аэродинамического сопротивления механизированной крепи на 60 % за счет изолирования зоны повышенного аэродинамического сопротивления (элементов конструкции ограждения, задней гидростойки и сети высоконапорных шлангов) от проходящего по лаве воздушного потока, что позволит увеличить расход воздуха и предельно допустимую нагрузку на очистной забой.

14. Установленная возможность снижения аэродинамического сопротивления призабойного пространства с помощью разработанной технологии парусного разделения газоздушных потоков призабойного и выработанного пространств позволяет расширить область применения прямоочных схем проветривания с направлением исходящей струи на выработанное пространство, рекомендуемых действующими нормативными документами для отработки высокогазоносных пластов.

15. Разработанная методика оценки технического потенциала механизированного комплекса по газовому фактору позволяет снизить вариацию добычи с 36 до 24 %, обеспечив стабилизацию добычи вокруг среднего значения 1900 т/сут, установить объём компенсации потерь добычи 39-45 % за счёт реализации потенциала производительности.

16. Для проектирования отработки высокогазоносных пластов предложен критерий оптимизации длины лавы, заключающийся в максимальном приближении предела нагрузки по газовому фактору к техническому пределу производительности механизированного комплекса и обеспечивающий повышение угледобычи за счет минимизации простоев по газовому фактору.

17. Оптимизация длины очистного забоя по критерию максимального приближения предела нагрузки по газовому фактору к техническому пределу производительности механизированного комплекса обеспечивает повышение угледобычи на 12 % за счет сокращения простоев из-за срабатывания АГК.

18. Опытно-промышленная проверка эффективности предложенного технического решения по снижению утечек воздуха в выработанное пространство показала, что с его помощью обеспечивается снижение относительного метановыделения с 4,19 до 3,55 м³/мин, уменьшение в среднем на одни сутки числа срабатываний АГК в 5 раз, количество проходящего в лаве воздуха увеличилось с 335 до 531 м³/мин за счет снижения утечек воздуха. Рациональное использование поступающего в лаву воздуха привело к росту добычи с 1711 до 2167 т/сут. Увеличение уровня угледобычи позволило получить годовой экономический эффект в размере 6179462 руб. в ценах 2023 г.

Практические рекомендации по внедрению результатов исследований

Для внедрения результатов выполненных исследований на шахтах Донбасса, отрабатывающих пологие высокогазоносные пласты необходимо:

- расширить функции участка вентиляции на ведение текущего прогноза метанообильности и обоснования предельно допустимой нагрузки по газовому фактору;
- ввести в обязанности руководства выемочного участка планировать суточную добычу угля на очередные сутки и её распределение по сменным нарядам на основе выполненного прогноза предельно допустимой нагрузки по газовому фактору;
- для выполнения функций текущего прогноза и обоснования предельно допустимой нагрузки по газовому фактору необходимо оснащение участка вентиляции шахты компьютерным оборудованием и программным обеспечением, включающим разработанную программу текущего прогноза метанообильности на языке Python, электронные таблицы Excel и расчетный комплекс Statistika;
- сотрудники участка вентиляции, ответственные за ведение текущего прогноза должны пройти соответствующее обучение на специальных курсах.

Перспективы дальнейших исследований

В продолжение начатых исследований необходимо уточнение установленной зависимости процесса метановыделения от суточной нагрузки на механизированный комплекс в разных горно-геологических условиях. Для решения этой задачи в первую очередь необходимо разработать программно-технический комплекс непрерывного автоматизированного контроля добычи угля на выемочном участке.

На основе авторского контроля за внедрением технологии управления газовоздушными потоками в очистном забое необходимо усовершенствование конструкции парусного устройства в части механизации процесса свертывания и и развертывания экрана для оперативного обслуживания механизированной крепи.

Расширение области применения парусного устройства на другие типы и типоразмеры механизированных крепей требует разработки программного обеспечения для определения их удельного аэродинамического сопротивления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГНАОТ 1.1.30-6.09.93. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт : утверждено Приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда № 131 от 20.12.1993. – Киев : Основа, 1994. – 312 с. – (Государственный нормативный акт по охране труда). – Текст : непосредственный.

2. СОУ-П 10.1-00185790-014:2009 Технологические схемы отработки газоносных пластов с большими нагрузками на очистные забои : издание официальное : утверждено Приказом Минуглепрома Украины № 433 от 02.10.09 : согласовано Госпромгорнадзором Украины № 01/04-05-3а/10308 от 03.12.2008. – Киев : Минуглепром Украины, 2009. – 248 с. – Текст : непосредственный.

3. Белодедов, А. А. Формирование оптимальной технологии разработки угольных месторождений / А. А. Белодедов, Ю. И. Разоренов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. – 2007. – № 2. – С. 90–92.

4. Выговская, Д. Д. Определение зависимости надежности очистных работ от основных влияющих факторов на пологих угольных пластах / Д. Д. Выговская, Д. Д. Выговский, А. В. Белов. – Текст : электронный // Проблемы горного дела : сборник научных трудов I международного форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, г. Донецк, 08–10 апреля 2020 года / Донецкий национальный технический университет, Институт горного дела и геологии ; редколлегия : Ю. Ф. Булгаков [и др.]. – Донецк : ДонНТУ, 2020. – С. 49–54. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=sylizn> (дата обращения: 06.04.2023). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

5. СОУ 10.1-00185790-018:2012 Нормативная нагрузка на очистные забои. Методика : издание официальное : утвержден приказом Министерства энергетики и угольной промышленности Украины № 828 от 26.10.12. – Киев, 2012. – 148 с. – Текст : непосредственный.

6. Нормативы нагрузки на очистные забои и скорости проведения подготовительных выработок на шахтах : разработаны ГП «Донецкий научно-исследовательский угольный институт» : утверждены Департаментом угольной промышленности Министерства топлива и энергетики Украины в 2004 г. и скорректированы в 2007 г. – Донецк : ДонУГИ, 2007. – 40 с. – Текст : электронный. – URL: <https://textarchive.ru/c-2200518.html> (дата обращения: 06.04.2023).

7. Турбор, И. А. Установление зависимости производительности очистного забоя от затрат времени на выполнение штатных и нештатных операций очистного цикла / И. А. Турбор, Д. Н. Шурыгин. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 9. – С. 97–103.

8. Ильяшов, М. А. Исследование вариации темпов добычи угля из длинных очистных забоев / М. А. Ильяшов, А. А. Яйцов, В. В. Назимко, Л. Н. Захарова. – Текст : непосредственный // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – № 1. – С. 193–200.

9. Федоров, В. Н. Обеспечение ритмичной работы очистных забоев — главное условие роста эффективности / В. Н. Федоров. – Текст : непосредственный // Уголь. – 2009. – № 1. – С. 70–73.

10. Методические указания по прогнозированию горно-геологических условий на участках высокопроизводительных лав / составитель А. К. Шаульский : одобрено объединением «Союзуглегеология» Минуглепрома СССР 17.06.1976. – Гуково : Гуковуголь, 1977. – 59 с. – Текст : непосредственный.

11. Назимко, В. В. Стохастическое моделирование рисков невыполнения программы подземной угледобычи / В. В. Назимко, А. В. Мерзликин, Л. Н. Захарова. – Текст : непосредственный // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 30. – С. 169–179.

12. Барановская, О. В. Анализ причин и оценка опасных загазований горных выработок в условиях шахты «Южнодонецкая» № 1 : специальность : «Охрана труда» : автореферат магистерской диссертации / Барановская Ольга Валериевна ; Донецкий национальный технический университет, Факультет

«Геотехнологий и управления предприятием». ; руководитель : Стукало Виталий Антонович. – URL: <https://masters.donntu.ru/2003/fgtu/baranovskaya/diss/index.html> (дата обращения: 06.04.2023). – Текст : электронный.

13. Ткачук, С. П. Взрывопожаробезопасность горного оборудования / С. П. Ткачук, В. П. Колосюк, С. А. Ихно. – Киев : Основа, 2000. – 696 с. – Текст : непосредственный.

14. Левкин, Н. Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / Н. Б. Левкин. – Донецк : Донбасс, 2002. – 392 с. – ISBN 5-7740-0777-4. – Текст : непосредственный.

15. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах : в 3 т. Т. 2 / под редакцией А. М. Брюханова. – Донецк : Норд-Пресс, 2004. – 632 с. – Текст : непосредственный.

16. Грядущий, Б. А. Проблемы обеспечения техногенной и экологической безопасности на угольных шахтах Донецкого бассейна / Б. А. Грядущий, А. Н. Коваль. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / Макеевский научно-исследовательский университет. – Макеевка : Донбасс, 2002. – С. 164–173.

17. Состояние и причины производственного травматизма и аварийности на предприятиях Минуглепрома СССР за 1986–1990 годы : (обзор). – Макеевка : МакНИИ, 1991. – 91 с. – Текст : непосредственный.

18. Голинько, В. И. Повышение надежности контроля содержания метана в горных выработках шахт / В. И. Голинько, А. К. Котляров. – Текст : непосредственный // Разработка рудных месторождений : научно-технический сборник. – Киев : Техника, 2005. – Вып. 88. – С. 221–224.

19. Аэрогазовый контроль / В. Н. Медведев, А. И. Бобров, Б. Н. Иотенко, Е. В. Беляева. – Текст : непосредственный // Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах : в 3 т. Т. 3 / А. М. Брюханов, В. И. Бережинский, В. П. Колосюк [и др.] ; под редакцией А. М. Брюханова. – Донецк : Вебер (Донецкое отделение), 2007. – С. 271–318.

20. Приходько, В. М. Предотвращение несанкционированного вмешательства в работу аппаратуры автоматического контроля метана / В. М. Приходько, В. Н. Медведев, Е. В. Беляева. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / МакНИИ. – Макеевка : Донбасс, 1998. – С. 320–323.

21. Аношин, Е. А. Причиной аварии на шахте «Ульяновская» стало вмешательство человека в действие системы автоматического контроля / Е. А. Аношин. – Текст : непосредственный // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 4. – С. 15–16.

22. Тополов, В. С. Угольная отрасль Украины: Энергоресурсы, ретроспектива, состояние, проблемы и стратегия развития / В. С. Тополов, Б. А. Грядущий, С. М. Петренко. – Донецк : ООО «Алан», 2005. – 408 с. – Текст : непосредственный.

23. Особенности оценки метановыделения в выработки выемочного участка / С. П. Минеев, М. В. Лыжков, Л. В. Феськова, В. В. Шевченко. – Текст : непосредственный // Геотехническая механика : межведомственный сборник научных трудов / ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. – 2013. – Вып. 111. – С. 120–129.

24. Мещанинов, С. К. К вопросу о влиянии дегазации на газовый режим рабочего пространства очистного забоя / С. К. Мещанинов, С. В. Борщевский, В. В. Гончаренко. – Текст : непосредственный // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – № 1. – С. 187–193.

25. Методологические основы определения скорости подвигания очистного забоя по газовому фактору / Г. П. Стариков, Я. В. Шажко, О. Г. Худолей, С. В. Шатохин. – Текст : непосредственный // Труды РАНМИ. – 2016. – № 1 (16). – С. 19–26.

26. Стукало, В. А. К вопросу определения максимально допустимой по газовому фактору скорости подвигания комбайна в очистной выработке при выемке угля в газовой угольной шахте / В. А. Стукало. – Текст :

непосредственный // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – № 1. – С. 145–147.

27. Шевченко, Л. А. Газовыделение из отбитого угля при интенсивной отработке угольных пластов / Л. А. Шевченко, С. Н. Ливинская. – Текст : непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (107). – С. 164–166.

28. Крыжановский, Ю. Ю. О максимальном газовыделении в горных выработках при отработке угольных пластов / Ю. Ю. Крыжановский, Н. И. Антощенко, Р. Л. Гасюк. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / МакНИИ. – Макеевка : Донбасс, 2013. – Вып. 2. – С. 69–76.

29. Некоторые аспекты применения нормативных документов при проектировании высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт / А. М. Тимошенко, М. Н. Баранова, Д. В. Никифоров, Л. П. Белавенцев. – Текст : непосредственный // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2010. – № 1. – С. 5–15.

30. Особенности метановыделения в высоконагруженных очистных забоях / М. А. Ильяшов, А. В. Агафонов, В. Н. Кочерга, А. А. Боднарь. – Текст : непосредственный // Уголь. – 2010. – № 7 (1011). – С. 24–26.

31. Забурдяев, В. С. Особенности метановыделения при отработке пласта 52 на высокопроизводительной шахте «Котинская» (ОАО «СУЭК-Кузбасс») / В. С. Забурдяев, И. А. Новикова, В. С. Сметанин. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7 (1011). – С. 12–20.

32. Бокий, Б. В. Влияние скорости подвигания на напряженно-деформированное состояние и газовую проницаемость массива / Б. В. Бокий, О. И. Касимов, И. В. Назимко. – Текст : непосредственный // Уголь Украины. – 2009. – № 11. – С. 9–13.

33. О корректировке учета метанообильности выработок при интенсивной разработке тонких пологих угольных пластов / М. А. Ильяшов, А. В. Агафонов,

А. А. Боднар, В. Н. Кочерга. – Текст : непосредственный // Школа подземной разработки : сборник научных трудов III международной научно-практической конференции, г. Днепропетровск, 13–19 сентября 2009 года. – Днепропетровск : НГУ, 2009. – С. 25–29.

34. Костенко, В. К. Особенности эмиссии метана при интенсивной отработке угольных пластов / В. К. Костенко. – Текст : непосредственный // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2013. – № 2 (33). – С. 196–204.

35. Минеев, С. П. Закономерности метановыделения при высоких скоростях подвигания очистного забоя / С. П. Минеев, В. Н. Кочерга, А. С. Янжула. – Текст : непосредственный // Уголь Украины. – 2015. – № 7/8. – С. 26–31.

36. О причинах уменьшения метановыделения из пласта при высоких скоростях подвигания забоя / Н. А. Рязанцев, А. К. Носач, Б. А. Кодунов, А. Н. Рязанцев. – Текст : непосредственный // Проблемы горной технологии : сборник научных трудов / ДонНТУ, Красноармейский индустриальный институт. – Донецк : Цифровая типография, 2010. – С. 116–124.

37. Белодедов, А. А. Установление зависимости влияния длины лавы на основные технико-экономические показатели работы шахты / А. А. Белодедов, С. А. Шмаленюк. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 8. – С. 216–219.

38. Зборщик, М. П. Предотвращение взрывов метановоздушной смеси в очистных забоях пологих угольных пластов / М. П. Зборщик. – Текст : непосредственный // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2006. – № 1. – С. 86–93.

39. Проветривание и газовый режим шахты им. А. Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования / Е. Л. Звягильский, А. Ф. Булат, И. А. Ефремов [и др.]. – Донецк ; Днепропетровск : ИГТМ НАН Украины, 2003. – 228 с. – Текст : непосредственный.

40. Бокий, Б. В. Оценка эффективности схем проветривания добычных участков шахты им. А. Ф. Засядько / Б. В. Бокий. – Текст : непосредственный // Геотехническая механика : межведомственный сборник научных трудов /

Национальная академия наук Украины, Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова. – Днепропетровск : [б.и.], 2001. – № 27. – С. 64–68.

41. Совершенствование вентиляции и дегазации угольных шахт / А. Ф. Булат, Е. Л. Звягильский, Б. В. Бокий [и др.]. – Днепропетровск : ИГТМ НАН Украины, 2005. – 214 с. – Текст : непосредственный.

42. Иотенко, Б. Н. Прогноз метановыделения на выемочном участке при первичной посадке непосредственной и основной кровли / Б. Н. Иотенко. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / Макеевский научно-исследовательский институт. – Макеевка : Донбасс, 2009. – Вып. 1 (23). – С. 24–38.

43. Козырева, Е. Н. Особенности газогемеханических процессов на выемочном участке шахты / Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич. – Текст : непосредственный // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2010. – № 2. – С. 28–35.

44. Полевщиков, Г. Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах / / Г. Я. Полевщиков. – Текст : непосредственный // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 5. – С. 50–60.

45. Денисенко, В. П. О связи параметров метановыделения с периодическими осадками газоносного подрабатываемого массива (на примере шахт Краснодонского района Донбасса) / В. П. Денисенко, В. Н. Окалелов, Е. В. Абакумова. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ДонГТУ, 2006. – № 22. – С. 39–49.

46. Исследование взаимосвязи геомеханических и газодинамических процессов на шахтах Карагандинского угольного бассейна / Г. А. Пак, В. Н. Долгоносков, Ф. К. Низаметдинов, О. В. Старостина. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 4. – С. 37–45.

47. Геомеханические процессы и прогноз динамики газовыделения при ведении очистных работ в угольных шахтах : монография / Н. И. Антощенко, В. Н. Окалелов, В. И. Павлов [и др.]. – Алчевск : Дон ГТУ, 2010. – 449 с. – Текст : непосредственный.

48. Формирование динамики метановыделения из подрабатываемого массива при отработке газоносных угольных пластов : монография / Н. И. Антощенко, В. Н. Окалелов, В. И. Павлов [и др.]. – Алчевск : ДонГТУ, 2013. – 221 с. – Текст : непосредственный.

49. Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов / Н. Э. Голяндина ; Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург : ООО «Издательство ВВМ», 2004. – 76 с. – ISBN 5-9651-0019-1. – Текст : непосредственный.

50. Иванов, Ю. А. Имитационная модель процесса изменения концентрации метана на выемочном участке / Ю. А. Иванов. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных условий труда в шахтах : сборник научных трудов / Макеевский научно-исследовательский институт. – Макеевка : Донбасс, 1984. – С. 135–145.

51. Бусыгин, К. К Усовершенствованию алгоритма срабатывания аппаратуры автоматического контроля концентрации метана / К. К. Бусыгин, Ю. А. Иванов. – Текст : непосредственный // Создание безопасных условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / Макеевский научно-исследовательский институт. – Макеевка : МакНИИ. 1986. – С. 27–32.

52. Бахвалов, Л. А. Статистическое моделирование аэрогазодинамических процессов при эксплуатации системы автоматического управления проветриванием метанообильной шахты / Л. А. Бахвалов, И. О. Темкин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал. – 1989. – № 10. – С. 108–112.

53. Бахвалов, Л. А. Моделирование систем / Л. А. Бахвалов ; редакционный совет: Пучков Л. А. (председатель) [и др.]. ; Московский государственный горный

университет. – Москва : МГГУ, 2006. – 295 с. – ISBN 5-7418-0402-0. – Текст : непосредственный.

54. Бахвалов, Л. А. Анализ современных систем автоматического управления проветриванием / Л. А. Бахвалов, И. В. Баранникова, А. Т. Агабубаев. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 7. – С. 22–28.

55. Ордин, А. А. О нелинейной зависимости концентрации метана от длины лавы и допускаемой производительности очистного забоя по газовому фактору / А. А. Ордин, А. М. Тимошенко, С. А. Коленчук. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 7. – С. 287–299.

56. Ковалев, В. А. Анализ газовых балансов выемочных участков шахт / В. А. Ковалев, Л. А. Шевченко. – Текст : непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4 (92). – С. 61–63.

57. Пащенко, П. С. Методика прогнозирования газообильности горных выработок по геолого-геомеханическим критериям / П. С. Пащенко. – Текст : непосредственный // Геотехническая механика : межведомственный сборник научных трудов / Национальная академия наук Украины, Институт геотехнической механики имени Н. С. Полякова. – Днепропетровск : [б.и.], 2009. – № 82. – С. 36–45.

58. Иотенко, Б. Н. Методика расчета предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору высоконагруженных выемочных участков / Б. Н. Иотенко. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / Макеевский научно-исследовательский институт ; редакционная коллегия: О. А. Демченко (главный редактор) и [др.]. – Макеевка : Донбасс, 2017. – Вып. 1 (36). – С. 32–44.

59. НПАОТ 10.0-1.01-18. Правила безопасности в угольных шахтах : нормативно-правовой документ : утверждены Приказом Государственной службой горного надзора и промышленной безопасности Луганской Народной

Республики от 13.04.18 № 261. – 210 с.– URL: <https://sovminlnr.ru/docs/2018/05/02/u261.pdf> (дата обращения: 10.07.2023). – Текст : электронный.

60. Мещанинов, С. К. Математичне моделювання виходу метану з вугільних пластів при русі комбайна = Математическое моделирование выхода метана из угольного пласта при движении комбайна / С. К. Мещанинов, Ю. Д. Павлова. – Текст : непосредственный // Науковий Вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2011. – № 5. – С. 66–70.

61. Метод анализа динамики показателей метановыделения выемочных участков угольных шахт / Л. Е. Подлипенская, В. И. Павлов, Ю. В. Бубунец, С. И. Долгопятенко. – Текст : непосредственный // «Современные технологии и оборудование для добычи угля подземным способом» : материалы X международной научно-практической конференции – Донецк : ДонУГИ, 2008. – С. 42–45.

62. Павлов, В. И. Прогноз рядов динамики метановыделения выработанного пространства / В. И. Павлов, С. И. Долгопятенко. – Текст : непосредственный // Прикладные задачи математики и механики: материалы XVII международной научно-технической конференции, г. Севастополь, 14–18 сентября 2009 года / под редакцией Ю. Е. Обжерина. – Севастополь: СевНТУ, 2009. – С. 196–199.

63. Хургин, З. Я. Методика статистической обработки случайных процессов на ЭВМ / З. Я. Хургин, Г. М. Левинц, О. П. Земскова ; Министерство угольной промышленности СССР, Институт горного дела им. А. А. Скочинского, Лаборатория математических методов исследований с ВЦ. – Москва : [б.и.], 1976. – 28 с. – Текст : непосредственный.

64. Марпл-мл., С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. Л. Марпл-мл. ; перевод с английского О. И. Хабарова, Г. А. Сидоровой под редакцией И. С. Рыжака. – Москва : Мир, 1990. – 584 с. – ISBN 5-03-001191-9 (в пер.). – Текст : непосредственный.

65. Смекалин, Е. С. Методика шахтных инструментальных исследований процессов метановыделения и угледобычи на выемочных участках /

Е. С. Смекалин, С. И. Кулакова, В. И. Павлов. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического института. – Алчевск : ДонГТУ, 2023. – Вып. № 31 (74) – С. 5–10.

66. Медведев, В. Н. Концепция развития мониторинга содержания метана в шахтной атмосфере / В. Н. Медведев, М. Д. Азбель. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / Макеевский научно-исследовательский институт ; редакционная коллегия: О. А. Демченко (главный редактор) и [др.]. – Макеевка : Донбасс, 2017. – Вып. 1 (36). – С. 5–16.

67. НПАОП 10.0-5.02-04. Інструкція з контролю складу рудникового повітря, визначення багатогазовості та встановлення категорій шахт за метаном = Инструкция по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности и установлению категорий шахт по метану : нормативно-правовой документ Госгорпромнадзора Украины / Держнаглядохоронпраці України. – URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1689064728&tld=ru&lang=uk&name=нпаоп_10_0-5_02-04.pdf&text=.%20НПАОП%2010.0-5.02-04&url=https (дата обращения: 11.07.2023). – Текст : электронный.

68. Недашковский, И. В. Регулирование распределения воздуха в шахте, оснащенной подсистемой диспетчерского контроля и управления проветривания (АТМОС) / И. В. Недашковский, В. И. Комская, О. Н. Лонюк, Ф. В. Полулях // Создание безопасных условий труда в угольных шахтах / Макеевский научно-исследовательский институт. – Макеевка : Донбасс, 1984. – С. 5–10. – Текст : непосредственный.

69. Черняк, И. Л. Управление состоянием массива горных пород / И. Л. Черняк, С. А. Ярунин. – Москва : Недра, 1995. – 395 с. : ил. – (Высшее образование). – ISBN 5-247-03356-6 (в пер.) – Текст : непосредственный.

70. НПАОП 10.0-5.06-89. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа : утверждено Минуглепромом СССР и Госгортехнадзором СССР 18.04.89. – Москва : ИГД им. А. А. Скочинского, 1989. – 191 с. – Текст : непосредственный.

71. Топчій, С. Є. Обґрунтування параметрів способу оперативного контролю та управління станом гірничого масиву із застосуванням звукоуловлюючої апаратури : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.15.11 / Топчій Сергій Євгенович ; Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України. – Донецьк: ІФГП НАН України, 2007. – 20 с. – Текст : непосредственный.

72. СОУ 10.1.00174088.011-2005 : Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям : официальное издание. – Киев : Минуглепром Украины, 2005. – 225 с. – (Стандарт Минуглепрома Украины). – Текст : непосредственный.

73. Кудинов, Ю. В. Влияние неравномерности добычи угля на метанообильность очистного забоя / Ю. В. Кудинов, В. И. Павлов, С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сборник научных трудов / Макеевский научно-исследовательский институт. – Макеевка : Донбасс, 2014. – Вып. 1 (33). – С. 38–44.

74. Павлов, В. И. Оценка точности нормативной методики расчета метановыделения при высоком уровне угледобычи / В. И. Павлов, С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ДонГТУ, 2018. – Вып. 12 (55) – С. 18–22.

75. Кулакова, С. И. Безопасность комплексно-механизированных лав при больших нагрузках / С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: научно-технический журнал. – Донецк, 2018. – № 1 (55). – С. 113–121.

76. Окалелов, В. Н. Прогноз и контроль динамики метановыделения в очистных забоях / В. Н. Окалелов, Л. Е. Подлипенская, Ю. В. Бубунец, С. И. Долгопятенко. – Текст : непосредственный // Уголь Украины. – 2008. – № 7. – С. 21–24.

77. Шпрехер, Д. М. Выбор структуры и параметров нейронной сети для прогнозирования концентрации метана в угольном забое / Д. М. Шпрехер, Г. И. Бабокин, Е. Б. Колесников. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 5. – С. 46–57.

78. Эконометрика / И. И. Елисеева, С. В. Курышева, Т. В. Костеева [и др.] ; под редакцией И. И. Елисеевой. – Москва : Финансы и статистика, 2001. – 338 с. : ил. – ISBN 5-279-01955-0. – Текст : непосредственный.

79. Окалелов, В. Н. Взаимосвязь геомеханических процессов и динамики метановыделения выемочного участка / В. Н. Окалелов, С. И. Долгопятенко. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал. – 2008. – № 7. — С. 49–55.

80. Козырева, Е. Н. Особенности газогемеханических процессов на выемочном участке шахты / Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич. – Текст : непосредственный // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2010. – № 2. – С. 28–35.

81. Кулакова, С. И. Изменение высокочастотного спектра процесса метановыделения под влиянием высоких нагрузок на очистной забой / С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // «Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий»: материалы III международной научно-технической конференции, г. Донецк, 21 ноября 2019 года. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 13–20.

82. Кулакова, С. И. Влияние добычи на высокочастотный спектр метановыделения / С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // «Актуальные проблемы геомеханики и геотехнологии добычи полезных ископаемых»: материалы IV международной научно-практической конференции, г. Алчевск, 25 ноября 2020 года.– Алчевск : ДонГТИ, 2020. – С. 71–73.

83. Павлов, В. И. Спектральный анализ процесса метановыделения при повышении нагрузки на очистной забой / В. И. Павлов, С. И. Кулакова . – Текст :

непосредственный // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск : ДонГТУ, 2020. – Вып. 18 (61). – С. 35–41.

84. Дженкинс, Г. Спектральный анализ и его приложения. / Г. Дженкинс, Д. Ваттс ; перевод с английского В. Ф. Писаренко. – Москва : Мир, 1971. – Т. 1. – 316 с : ил. – Текст : непосредственный.

85. Кендэл, М. Временные ряды / М. Кендэл. – Москва : Финансы и статистика, 1981. – 199 с. – Текст : непосредственный.

86. Кулакова, С. И. Источники метановыделения из подрабатываемого угольными пластами массива / С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // Форум горняков – 2012 : материалы международной конференции, г. Днепропетровск, 3–6 октября 2012 года. – Днепропетровск : НГУ, 2012. – С. 76–79.

87. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю. П. Лукашин. – Москва : Финансы и статистика, 2003. – 416 с. : ил. – Текст : непосредственный.

88. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Книга 1 : перевод с английского / Дж. Бокс, Г. Дженкинс ; под редакцией В. Ф. Писаренко. – Москва : Мир, 1974. – 406 с. – Текст : непосредственный.

89. Кулакова, С. И. Адаптивное моделирование динамики метановыделения / С. И. Кулакова – Текст : непосредственный // Проблемы горного давления : сборник научных трудов / Донецкий национальный технический университет. – Донецк : ДонНТУ, 2017. – № 1 (32) – С. 3–12.

90. Кулакова, С. И. Возможности снижения выбросов шахтного метана в атмосферу / В. И. Палов, С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // 65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации : сборник тезисов докладов юбилейной международной научно-технической конференции, г. Алчевск, 13 октября 2022 года. – Алчевск : ДонГТИ, 2022. – С. 300–301.

91. ГНАОТ. Схемы и способы управления газовыделением на выемочных участках угольных шахт : издание официальное : утверждено Приказом

Госпромгорнадзора Украины № 108 от 30.06.2006. – Киев : Ротапринт МакНИИ, 2006. – 79 с. – Текст : непосредственный.

92. Звягильский, Е. Л. Влияние схем проветривания лав на частоту взрывов метана / Е. Л. Звягильский, Б. В. Бокий, О. И. Касимов. – Текст : непосредственный // Уголь Украины. – 2008. – № 7. – С. 18–21.

93. Патент № 55339 Україна, МПК E21F1/00 (2009). Спосіб провітрювання комплексно-механізованих очисних вибоїв на високогазоносних вугільних пластах : № u201006905 : заявл. 04.06.2010 : опубл. 10.12.2010 / С. І. Долгоп'ятенко, Ю. Ю. Крижановський, Ю. В. Кудінов, В. І. Павлов, В. М. Окалєлов, Ю. В. Бубунець, Л. Є. Підлипенська, О. А. Колесник ; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. – 4 с. : ил. – Текст : безпосередній.

94. Кудинов, Ю. В. Управление утечками воздуха в очистном забое / Ю. В. Кудинов, В. И. Павлов, С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / Макеевский научно-исследовательский институт. – Макеевка : Донбасс, 2009. – № 2 (24). – С. 22–27.

95. Окалелов, В. Н. Управление распределением воздуха в комплексно-механизированных лавах, обрабатывающих высокогазоносные угольные пласты / В. Н. Окалелов, В. П. Павлов, Л. Е. Подлипенская, Ю. В. Бубунець, С. И. Долгопятенко. – Текст : непосредственный // Школа подземной разработки-2010 : сборник научных работ IV международной научно-практической конференции, г. Днепропетровск, 12–18 сентября 2010 года. – Днепропетровск : НГУ, 2010. – С. 46–52.

96. Кудинов, Ю. В. Экспериментально-расчетная оценка аэродинамического сопротивления механизированной крепи с парусным регулятором утечек воздуха / Ю. В. Кудинов, В. И. Павлов, С. И. Кулакова. – Текст : непосредственный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов / Макеевский

научно-исследовательский институт. – Макеевка : Донбасс, 2011. – № 1 (27). – С. 20–25.

97. Абрамов, Ф. А. Моделирование вентиляционных сетей шахт / Ф. А. Абрамов, В. А. Бойко, Н. А. Фролов. – Москва : Госгортехиздат, 1961. – 220 с. : ил. – Текст : непосредственный.

98. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – Москва : Гардарики, 2001. – 638 с. – (Univers). – Текст : непосредственный.

99. Пучков, Л. А. Аэродинамика подземных выработанных пространств / Л. А. Пучков. – Москва : МГГУ, 1993. – 267 с. : ил. – (Горные науки). – ISBN 5-7418-0001-7. – Текст : непосредственный.

100. Аэрология горных предприятий / К. З. Ушаков, А. С. Бурчаков, Л. А. Пучков, И. И. Медведев ; под редакцией К. З. Ушакова. – Москва : Недра, 1987. – 421 с. : ил. – Текст : непосредственный.

101. СОУ 10.1–00174102–005:2005 Депрессионные и газовые съемки в угольных шахтах. Методы проведения : издание официальное : утверждено Приказом Минуглепрома Украины от 22.09.05. – Киев : Минуглепром Украины, 2005. – 248 с. – Текст : непосредственный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Экспериментальные данные результатов замера метановыделения,
объемов добычи и интенсивности акустической эмиссии
в 28 орловской лаве ш. «Молодогвардейская»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по научной работе
ДонГТУ

проф. Н.Н.Заблодский

2012



Директор СП
ш. «Молодогвардейская»
ПАО «Краснодонуголь»

А.Н. Нискевич

2012

АКТ

о результатах мониторинга условий отработки выемочных участков по пласту k_2 СП ш. «Молодогвардейская» ПАО «Краснодонуголь»

В ходе выполнения госбюджетных научно-исследовательских работ №152 “Разработка теоретических основ управления метановыделением и прогноза добычи шахтного метана с учетом геомеханических процессов” № госрегистрации 0107U001471, №178 “Разработка теоретических основ оценки подготовленных к отработке выемочных участков на аномальность метановыделения” № госрегистрации 0110U000096 аспирантами Донбасского государственного технического университета Бубунцом Ю.В. и Кулаковой С.И. проведен мониторинг условий отработки выемочных участков по пласту k_2 : 25 Орловской лавы, 17 Орловской лавы, 26 Орловской лавы, 28 Орловской лавы, 29 Орловской лавы, 30 Орловской лавы, 31 Орловской лавы, 34 Орловской лавы, включающий контроль параметров метановоздушных потоков, дегазации, эксплуатационную доразведку участков и технико-экономические показатели работы лав.

Результаты мониторинга прилагаются.

От ДонГТУ



Научный руководитель ГБ №152,
ГБ №178

проф. Н.И.Антощенко

От шахты

Начальник участка ВТБ

А.А. Колесник

Главный маркшейдер

А.С.Сарычев

Главный геолог

Н.П. Шорников

Дата	Время	Исход. лавы	Добыча	Акустика	
		I,	A,	Nв,	Nн,
		м ³ /мин	т/сут	имп/час верх	имп/час низ
1	2	3	4	5	6
21.12.07	0	—	—	30	8
21.12.07	1	—	—	35	10
21.12.07	2	—	—	30	9
21.12.07	3	—	—	28	11
21.12.07	4	—	—	24	12
21.12.07	5	—	—	30	8
21.12.07	6	—	—	5	5
21.12.07	7	—	—	23	12
21.12.07	8	—	—	5	5
21.12.07	9	—	—	5	5
21.12.07	10	—	—	29	12
21.12.07	11	—	—	20	8
21.12.07	12	—	—	20	8
21.12.07	13	—	—	21	10
21.12.07	14	—	—	24	11
21.12.07	15	5.33	341	26	12
21.12.07	16	6.40	372	22	10
21.12.07	17	6.15	217	25	9
21.12.07	18	7.13	341	28	12
21.12.07	19	—	—	27	8
21.12.07	20	6.31	614	29	11
21.12.07	21	8.69	248	29	23
21.12.07	22	19.20	0	33	12
21.12.07	23	10.51	0	32	10
22.12.07	0	7.79	0	33	11
22.12.07	1	12.02	0	20	10
22.12.07	2	6.35	0	22	9
22.12.07	3	8.28	0	20	10
22.12.07	4	8.80	0	24	11
22.12.07	5	10.92	614	20	11
22.12.07	6	9.60	0	25	16
22.12.07	7	11.76	0	29	12
22.12.07	8	9.12	140	26	6
22.12.07	9	9.36	279	28	7
22.12.07	10	10.92	264	26	9
22.12.07	11	10.80	71	26	10
22.12.07	12	10.20	0	25	10
22.12.07	13	9.48	62	25	7
22.12.07	14	10.08	248	30	7
22.12.07	15	11.04	298	28	8
22.12.07	16	11.40	0	25	9

1	2	3	4	5	6
22.12.07	17	10.56	0	24	10
22.12.07	18	9.96	211	27	11
22.12.07	19	12.72	143	5	5
22.12.07	20	12.60	149	30	8
22.12.07	21	11.76	0	28	11
22.12.07	22	12.00	0	17	10
22.12.07	23	13.56	0	10	12
23.12.07	0	12.24	0	8	9
23.12.07	1	11.28	0	0	10
23.12.07	2	9.24	0	13	12
23.12.07	3	9.00	0	30	10
23.12.07	4	11.16	319	29	12
23.12.07	5	10.20	0	30	9
23.12.07	6	10.20	0	21	10
23.12.07	7	9.96	93	3	8
23.12.07	8	11.52	372	11	9
23.12.07	9	15.60	50	17	9
23.12.07	10	—	—	19	10
23.12.07	11	10.20	0	16	8
23.12.07	12	12.00	0	18	7
23.12.07	13	—	—	16	8
23.12.07	14	12.42	0	17	9
23.12.07	15	13.56	93	18	7
23.12.07	16	13.56	186	24	9
23.12.07	17	13.20	62	18	6
23.12.07	18	11.88	0	20	0
23.12.07	19	12.84	140	26	0
23.12.07	20	15.00	344	27	0
23.12.07	21	13.80	105	26	4
23.12.07	22	12.72	0	25	6
23.12.07	23	7.54	0	25	7
24.12.07	0	10.56	0	27	8
24.12.07	1	7.64	0	26	9
24.12.07	2	6.31	0	27	7
24.12.07	3	6.23	0	27	8
24.12.07	4	6.07	0	23	9
24.12.07	5	5.82	0	23	8
24.12.07	6	5.82	0	23	8
24.12.07	7	—	—	30	17
24.12.07	8	6.85	240	33	17
24.12.07	9	6.64	0	27	11
24.12.07	10	6.40	0	29	15
24.12.07	11	—	—	25	10
24.12.07	12	6.64	186	24	11

1	2	3	4	5	6
24.12.07	13	7.95	428	28	9
24.12.07	14	—	—	30	12
24.12.07	15	8.45	0	27	11
24.12.07	16	8.90	307	28	10
24.12.07	17	7.54	0	20	12
24.12.07	18	—	—	15	8
24.12.07	19	—	—	13	8
24.12.07	20	7.79	150	22	10
24.12.07	21	13.08	159	26	9
24.12.07	22	—	—	25	8
24.12.07	23	8.45	0	20	10
25.12.07	0	7.71	0	18	9
25.12.07	1	7.71	0	17	10
25.12.07	2	7.05	0	19	6
25.12.07	3	6.72	0	20	10
25.12.07	4	—	—	21	12
25.12.07	5	—	—	21	9
25.12.07	6	6.31	0	25	10
25.12.07	7	5.99	0	27	12
25.12.07	8	5.82	0	29	10
25.12.07	9	5.70	0	25	9
25.12.07	10	—	—	25	9
25.12.07	11	5.90	0	25	9
25.12.07	12	5.90	170	25	9
25.12.07	13	7.63	326	25	9
25.12.07	14	7.30	118	25	9
25.12.07	15	8.20	341	25	9
25.12.07	16	8.94	294	25	9
25.12.07	17	8.36	0	25	9
25.12.07	18	7.46	0	25	9
25.12.07	19	7.22	0	25	9
25.12.07	20	7.38	164	25	9
25.12.07	21	8.20	177	25	9
25.12.07	22	7.22	0	25	9
25.12.07	23	—	—	25	9
26.12.07	0	8.88	0	26	12
26.12.07	1	7.32	0	28	9
26.12.07	2	8.16	0	25	7
26.12.07	3	8.40	0	27	6
26.12.07	4	7.44	0	27	6
26.12.07	5	8.16	0	26	6
26.12.07	6	8.16	62	26	6
26.12.07	7	9.24	62	27	10
26.12.07	8	12.24	307	26	10

1	2	3	4	5	6
26.12.07	9	11.28	90	26	10
26.12.07	10	7.46	217	27	10
26.12.07	11	7.63	0	25	10
26.12.07	12	6.64	0	24	10
26.12.07	13	7.71	316	27	11
26.12.07	14	8.61	81	30	10
26.12.07	15	9.02	174	30	11
26.12.07	16	9.02	310	28	10
26.12.07	17	9.02	130	25	12
26.12.07	18	8.20	0	28	11
26.12.07	19	9.02	329	30	10
26.12.07	20	9.84	245	28	7
26.12.07	21	9.43	0	27	9
26.12.07	22	8.86	41	26	9
26.12.07	23	8.36	0	28	11
27.12.07	0	7.63	0	28	8
27.12.07	1	7.71	0	30	11
27.12.07	2	6.97	0	27	8
27.12.07	3	6.64	0	29	10
27.12.07	4	6.31	0	32	8
27.12.07	5	7.05	0	23	15
27.12.07	6	6.15	31	21	11
27.12.07	7	8.04	279	20	9
27.12.07	8	—	—	22	11
27.12.07	9	8.28	0	17	12
27.12.07	10	8.45	0	18	10
27.12.07	11	7.38	0	20	10
27.12.07	12	6.89	0	19	11
27.12.07	13	6.64	0	23	11
27.12.07	14	6.56	0	25	9
27.12.07	15	6.31	0	24	9
27.12.07	16	5.99	0	26	12
27.12.07	17	5.90	0	25	9
27.12.07	18	5.58	0	24	19
27.12.07	19	7.22	273	20	9
27.12.07	20	6.97	115	20	9
27.12.07	21	7.46	226	20	9
27.12.07	22	7.22	0	22	10
27.12.07	23	6.97	0	22	9
28.12.07	0	6.23	0	19	7
28.12.07	1	6.64	0	21	11
28.12.07	2	5.99	0	23	13
28.12.07	3	5.82	0	19	10
28.12.07	4	5.66	0	20	13

1	2	3	4	5	6
28.12.07	5	5.41	0	21	11
28.12.07	6	6.07	273	16	10
28.12.07	7	6.72	0	16	10
28.12.07	8	6.56	0	22	18
28.12.07	9	6.81	12	23	11
28.12.07	10	—	—	29	10
28.12.07	11	—	0	30	3
28.12.07	12	—	256	33	8
28.12.07	13	—	241	30	7
28.12.07	14	—	—	32	8
28.12.07	15	—	77	30	9
28.12.07	16	—	124	31	8
28.12.07	17	—	362	31	8
28.12.07	18	—	—	32	10
28.12.07	19	—	—	30	9
28.12.07	20	—	16	28	9
28.12.07	21	—	0	22	10
28.12.07	22	7.95	202	22	10
28.12.07	23	—	—	20	10
29.12.07	0	7.13	0	20	10
29.12.07	1	7.22	0	20	10
29.12.07	2	6.72	0	21	10
29.12.07	3	6.23	0	23	11
29.12.07	4	6.07	0	24	14
29.12.07	5	6.15	0	25	12
29.12.07	6	6.07	0	26	12
29.12.07	7	6.40	124	24	10
29.12.07	8	7.13	310	19	9
29.12.07	9	6.72	180	21	11
29.12.07	10	—	—	16	12
29.12.07	11	—	—	13	10
29.12.07	12	—	—	13	10
29.12.07	13	—	—	13	10
29.12.07	14	—	—	12	14
29.12.07	15	—	—	15	13
29.12.07	16	—	—	19	10
29.12.07	17	—	—	19	11
29.12.07	18	—	—	22	14
29.12.07	19	—	—	20	11
29.12.07	20	—	—	19	10
29.12.07	21	6.48	0	21	9
29.12.07	22	6.72	0	21	9
29.12.07	23	8.28	418	22	10
30.12.07	0	7.87	0	28	12

1	2	3	4	5	6
30.12.2007	1	7.38	0	30	13
30.12.07	2	6.40	0	27	12
30.12.07	3	5.99	0	31	8
30.12.07	4	5.82	0	23	11
30.12.07	5	6.15	195	32	9
30.12.07	7	6.31	0	25	10
30.12.07	8	6.97	155	20	9
30.12.07	9	6.81	459	26	8
30.12.07	10	7.05	0	26	8
30.12.07	11	6.40	0	25	8
30.12.07	12	6.23	78	19	10
30.12.07	13	7.13	171	21	12
30.12.07	14	7.13	366	18	9
30.12.07	15	7.13	0	22	7
30.12.07	16	6.97	0	21	8
30.12.07	17	6.40	0	19	9
30.12.07	18	—	—	20	11
30.12.07	19	5.90	0	23	10
30.12.07	20	5.74	0	22	8
30.12.07	21	5.90	155	18	11
30.12.07	22	7.71	459	20	9
30.12.07	23	6.89	0	19	11
02.01.08	0	3.78	0	18	10
02.01.08	1	4.13	0	20	8
02.01.08	2	3.78	0	23	12
02.01.08	3	3.78	0	18	9
02.01.08	4	4.13	0	19	11
02.01.08	5	4.47	614	22	8
02.01.08	6	4.04	0	21	12
02.01.08	7	4.04	0	18	7
02.01.08	8	3.96	0	19	9
02.01.08	9	4.47	186	22	8
02.01.08	10	4.47	124	20	10
02.01.08	11	4.21	0	17	9
02.01.08	12	4.13	0	21	10
02.01.08	13	4.47	211	19	10
02.01.08	14	4.56	0	4	12
02.01.08	15	4.64	0	18	11
02.01.08	16	4.56	0	20	10
02.01.08	17	5.07	0	22	12
02.01.08	18	5.16	124	23	11
02.01.08	19	5.68	143	20	9
02.01.08	20	5.42	0	21	10
02.01.08	21	6.11	310	23	19

1	2	3	4	5	6
02.01.08	22	6.40	304	28	8
02.01.08	23	5.41	0	24	10
03.01.08	0	5.17	0	29	12
03.01.08	1	5.17	0	20	7
03.01.08	2	5.17	0	21	9
03.01.08	3	4.76	0	26	10
03.01.08	4	4.92	0	23	8
03.01.08	5	4.59	0	20	7
03.01.08	6	5.58	0	22	10
03.01.08	7	5.90	0	30	10
03.01.08	8	5.58	0	25	9
03.01.08	9	5.99	0	21	8
03.01.08	10	5.90	0	20	9
03.01.08	11	5.74	78	18	10
03.01.08	12	8.36	31	24	11
03.01.08	13	6.48	313	16	8
03.01.08	14	7.22	195	17	12
03.01.08	15	6.89	0	14	10
03.01.08	16	6.23	186	18	12
03.01.08	17	7.54	310	14	10
03.01.08	18	7.54	118	18	13
03.01.08	19	7.38	0	25	15
03.01.08	20	7.46	93	23	18
03.01.08	21	7.30	31	17	10
03.01.08	22	6.97	264	23	9
03.01.08	23	6.48	0	20	9
04.01.08	0	6.15	0	22	10
04.01.08	1	6.64	0	23	10
04.01.08	2	6.07	0	21	7
04.01.08	3	5.90	0	20	9
04.01.08	4	5.66	0	22	10
04.01.08	5	5.41	0	22	10
04.01.08	6	5.00	0	20	9
04.01.08	7	5.41	161	24	10
04.01.08	8	5.08	0	23	11
04.01.08	9	5.00	0	20	12
04.01.08	10	4.76	0	24	13
04.01.08	11	4.67	0	27	10
04.01.08	12	4.92	31	22	16
04.01.08	13	4.84	0	25	15
04.01.08	14	4.59	0	28	12
04.01.08	15	6.07	465	23	13
04.01.08	16	5.74	77	27	10
04.01.08	17	5.08	0	22	17

1	2	3	4	5	6
04.01.08	18	5.58	0	24	12
04.01.08	19	5.25	0	29	15
04.01.08	20	5.58	114	25	13
04.01.08	21	5.25	133	28	18
04.01.08	22	5.33	68	26	10
04.01.08	23	5.08	0	17	6
05.01.08	0	5.99	0	20	10
05.01.08	1	5.49	0	21	16
05.01.08	2	5.17	0	24	12
05.01.08	3	4.92	0	19	11
05.01.08	4	4.59	0	22	5
05.01.08	5	4.67	0	20	7
05.01.08	6	4.67	0	16	5
05.01.08	7	5.25	0	17	9
05.01.08	8	4.67	418	16	13
05.01.08	9	4.43	0	20	14
05.01.08	10	4.92	310	15	8
05.01.08	11	5.17	465	16	7
05.01.08	12	5.08	108	17	8
05.01.08	13	5.08	40	20	8
05.01.08	14	5.00	155	19	13
05.01.08	15	5.49	248	20	8
05.01.08	16	5.25	211	18	12
05.01.08	17	5.08	0	20	9
05.01.08	18	4.76	0	21	7
05.01.08	19	4.76	0	19	7
05.01.08	20	5.74	403	23	8
05.01.08	21	6.07	210	20	7
05.01.08	22	5.49	0	22	10
05.01.08	23	5.41	62	22	10
06.01.08	0	4.92	0	23	11
06.01.08	1	4.92	0	18	9
06.01.08	2	4.43	0	21	8
06.01.08	3	4.43	0	23	15
06.01.08	4	4.35	0	22	10
06.01.08	5	4.76	0	24	7
06.01.08	6	4.92	341	25	9
06.01.08	7	5.25	211	24	8
06.01.08	8	4.76	0	26	11
06.01.08	9	4.92	93	25	8
06.01.08	10	5.49	217	17	10
06.01.08	11	5.49	0	23	11
06.01.08	12	5.17	0	20	9
06.01.08	13	5.66	217	21	10

1	2	3	4	5	6
06.01.08	14	5.82	87	19	12
06.01.08	15	5.74	0	20	9
06.01.08	16	5.74	248	21	12
06.01.08	17	6.56	149	23	11
06.01.08	18	5.74	217	19	10
06.01.08	19	5.33	0	23	13
06.01.08	20	5.41	0	20	11
06.01.08	21	6.56	527	24	8
06.01.08	22	6.72	0	26	12
06.01.08	23	6.56	0	18	11
07.01.08	0	6.07	0	23	9
07.01.08	1	5.90	0	21	9
07.01.08	2	5.74	0	25	10
07.01.08	3	5.49	0	22	13
07.01.08	4	5.25	0	19	8
07.01.08	5	5.08	0	25	11
07.01.08	6	5.08	0	23	21
07.01.08	7	4.92	0	23	10
07.01.08	8	4.76	0	27	9
07.01.08	9	4.76	0	20	11
07.01.08	10	4.59	0	21	11
07.01.08	11	4.51	0	18	13
07.01.08	12	4.43	0	16	8
07.01.08	13	4.43	0	21	10
07.01.08	14	4.26	0	19	13
07.01.08	15	4.26	0	15	11
07.01.08	16	4.26	0	17	10
07.01.08	17	4.10	0	19	14
07.01.08	18	4.10	0	16	10
07.01.08	19	3.94	0	20	11
07.01.08	20	3.94	0	22	11
07.01.08	21	3.85	0	19	11
07.01.08	22	3.85	0	22	9
07.01.08	23	5.76	0	23	13
08.01.08	0	5.76	0	20	11
08.01.08	1	6.12	0	19	13
08.01.08	2	5.28	0	21	14
08.01.08	3	3.61	0	21	12
08.01.08	4	3.44	0	23	15
08.01.08	5	3.36	0	20	13
08.01.08	6	3.28	0	18	13
08.01.08	7	3.20	0	21	11
08.01.08	8	3.36	0	20	16
08.01.08	9	3.36	294	20	12

1	2	3	4	5	6
08.01.08	10	3.44	0	23	12
08.01.08	11	3.44	0	21	14
08.01.08	12	3.44	0	25	10
08.01.08	13	3.61	170	25	12
08.01.08	14	3.61	148	24	14
08.01.08	15	3.77	0	27	13
08.01.08	16	4.43	263	25	15
08.01.08	17	4.02	232	20	10
08.01.08	18	4.43	0	22	8
08.01.08	19	3.94	0	25	10
08.01.08	20	4.26	0	23	11
08.01.08	21	4.43	217	18	7
08.01.08	22	4.67	248	21	10
08.01.08	23	4.59	0	19	11
09.01.08	0	4.35	0	19	14
09.01.08	1	4.35	0	23	5
09.01.08	2	3.94	0	22	12
09.01.08	3	3.85	0	11	4
09.01.08	4	3.53	0	20	7
09.01.08	5	3.44	0	20	6
09.01.08	6	3.44	0	20	6
09.01.08	7	3.44	0	25	10
09.01.08	8	3.03	0	13	5
09.01.08	9	3.77	310	18	8
09.01.08	10	4.18	0	23	11
09.01.08	11	4.26	0	21	13
09.01.08	12	3.77	0	23	10
09.01.08	13	4.10	217	20	8
09.01.08	14	5.17	341	20	9
09.01.08	15	5.17	55	22	10
09.01.08	16	—	—	20	11
09.01.08	17	5.41	186	20	12
09.01.08	18	5.25	186	22	10
09.01.08	19	5.25	0	18	12
09.01.08	20	5.17	0	20	10
09.01.08	21	5.17	0	22	8
09.01.08	22	5.74	0	24	11
09.01.08	23	5.99	0	21	9
10.01.08	0	5.41	0	19	9
10.01.08	1	5.49	0	23	10
10.01.08	2	5.00	0	20	12
10.01.08	3	4.84	0	21	8
10.01.08	4	4.67	0	20	9
10.01.08	5	4.59	0	22	10

1	2	3	4	5	6
10.01.08	6	6.36	62	23	12
10.01.08	7	—	—	20	10
10.01.08	8	8.16	264	22	11
10.01.08	9	7.80	0	19	9
10.01.08	10	5.17	31	21	10
10.01.08	11	4.76	0	18	10
10.01.08	12	4.51	0	20	8
10.01.08	13	4.51	0	22	10
10.01.08	14	4.84	279	19	9
10.01.08	15	5.49	93	17	11
10.01.08	16	5.58	372	21	10
10.01.08	17	5.00	0	17	8
10.01.08	18	4.59	0	20	9
10.01.08	19	—	—	22	8
10.01.08	20	5.49	0	15	10
10.01.08	21	5.25	403	18	10
10.01.08	22	5.17	0	20	9
10.01.08	23	4.92	0	23	11
11.01.08	0	4.76	0	16	11
11.01.08	1	5.08	0	18	8
11.01.08	2	4.51	0	21	8
11.01.08	3	4.43	0	20	9
11.01.08	4	4.35	0	21	7
11.01.08	5	4.26	0	21	10
11.01.08	6	4.10	31	20	8
11.01.08	7	4.43	180	18	7
11.01.08	8	4.67	124	19	10
11.01.08	9	5.25	341	17	8
11.01.08	10	7.44	149	15	11
11.01.08	11	7.20	0	15	10
11.01.08	12	6.60	0	9	5
11.01.08	13	7.80	0	17	10
11.01.08	14	8.76	62	17	7
11.01.08	15	8.52	552	11	9
11.01.08	16	8.88	0	13	8
11.01.08	17	8.64	0	10	6
11.01.08	18	7.80	81	10	8
11.01.08	19	9.00	276	17	10
11.01.08	20	9.96	257	18	9
11.01.08	21	9.00	0	20	9
11.01.08	22	9.48	316	15	7
11.01.08	23	9.48	0	19	10
12.01.08	0	9.00	0	18	10
12.01.08	1	5.88	0	20	8

1	2	3	4	5	6
12.01.08	2	5.64	0	21	11
12.01.08	3	5.76	0	18	9
12.01.08	4	7.56	0	17	11
12.01.08	5	6.00	0	20	9
12.01.08	6	5.16	0	20	12
12.01.08	7	5.04	87	17	8
12.01.08	8	5.76	211	15	7
12.01.08	9	7.20	0	18	9
12.01.08	10	7.80	0	19	10
12.01.08	11	7.68	0	10	7
12.01.08	12	7.44	0	18	8
12.01.08	13	7.92	0	21	9
12.01.08	14	7.44	78	18	8
12.01.08	15	8.76	356	20	10
12.01.08	16	8.52	180	17	9
12.01.08	17	8.04	0	18	7
12.01.08	18	7.92	0	15	10
12.01.08	19	12.84	418	17	11
12.01.08	20	10.80	195	14	18
12.01.08	21	9.36	0	12	11
12.01.08	22	8.88	0	14	8
12.01.08	23	8.88	0	20	10
13.01.08	0	8.52	0	15	6
13.01.08	1	8.04	0	18	12
13.01.08	2	7.56	0	19	10
13.01.08	3	7.44	0	21	10
13.01.08	4	8.40	0	20	8
13.01.08	5	—	—	17	10
13.01.08	6	7.20	372	19	9
13.01.08	7	7.80	242	17	8
13.01.08	8	8.04	242	16	7
13.01.08	9	8.64	0	18	10
13.01.08	10	8.76	0	19	8
13.01.08	11	9.12	0	14	7
13.01.08	12	8.64	0	16	10
13.01.08	13	8.76	93	18	9
13.01.08	14	9.84	186	17	7
13.01.08	15	10.56	345	16	11
13.01.08	16	10.32	0	18	8
13.01.08	17	9.72	0	16	10
13.01.08	18	10.08	295	21	9
13.01.08	19	11.64	319	19	11
13.01.08	20	11.04	0	20	8
13.01.08	21	10.20	155	22	8

1	2	3	4	5	6
13.01.08	22	12.60	310	20	10
13.01.08	23	12.24	124	19	7
14.01.08	0	11.64	25	18	10
14.01.08	1	11.16	0	23	9
14.01.08	2	10.20	0	21	11
14.01.08	3	9.60	0	22	10
14.01.08	4	9.24	0	18	10
14.01.08	5	9.00	0	20	10
14.01.08	6	8.16	0	18	9
14.01.08	7	7.20	0	18	11
14.01.08	8	5.64	186	20	11
14.01.08	9	7.13	372	12	10
14.01.08	10	9.55	56	14	9
14.01.08	11	9.20	0	18	10
14.01.08	12	8.51	0	5	12
14.01.08	13	8.74	279	14	9
14.01.08	14	8.17	0	17	8
14.01.08	15	10.01	93	20	9
14.01.08	16	9.66	234	17	10
14.01.08	17	9.89	0	14	10
14.01.08	18	9.66	0	16	10
14.01.08	19	11.50	0	19	7
14.01.08	20	10.12	0	20	8
14.01.08	21	10.24	0	17	10
14.01.08	22	10.01	171	19	9
14.01.08	23	9.20	0	18	11
15.01.08	0	8.74	0	16	8
15.01.08	1	8.74	0	15	7
15.01.08	2	8.28	0	17	10
15.01.08	3	8.05	0	14	9
15.01.08	4	7.82	0	15	8
15.01.08	5	7.82	0	18	9
15.01.08	6	7.59	0	14	8
15.01.08	7	8.97	62	13	6
15.01.08	8	8.51	381	3	4
15.01.08	9	8.28	0	8	5
15.01.08	10	10.01	465	9	6
15.01.08	11	10.35	0	9	7
15.01.08	12	9.43	311	10	5
15.01.08	13	9.78	118	13	7
15.01.08	14	9.20	0	10	7
15.01.08	15	8.28	0	11	6
15.01.08	16	8.51	155	9	4
15.01.08	17	10.01	372	8	5

1	2	3	4	5	6
15.01.08	18	9.32	0	10	8
15.01.08	19	8.97	87	7	8
15.01.08	20	8.51	0	13	11
15.01.08	21	8.28	0	12	14
15.01.08	22	8.05	0	8	12
15.01.08	23	7.71	0	10	9
16.01.08	0	7.25	0	12	11
16.01.08	1	7.59	0	12	9
16.01.08	2	6.90	0	14	11
16.01.08	3	6.79	0	10	10
16.01.08	4	6.56	0	15	13
16.01.08	5	6.44	0	15	14
16.01.08	6	6.33	0	23	17
16.01.08	7	6.33	0	21	14
16.01.08	8	6.33	87	20	14
16.01.08	9	6.56	0	16	11
16.01.08	10	7.13	78	21	9
16.01.08	11	8.38	0	19	11
16.01.08	12	9.00	481	20	10
16.01.08	13	8.75	56	18	9
16.01.08	14	10.00	0	17	10
16.01.08	15	10.63	434	18	11
16.01.08	16	9.75	0	12	6
16.01.08	17	8.50	180	19	12
16.01.08	18	8.00	0	20	10
16.01.08	19	8.00	0	18	7
16.01.08	20	8.75	186	12	13
16.01.08	21	10.63	233	21	17
16.01.08	22	10.25	140	22	12
16.01.08	23	9.75	56	18	11
17.01.08	0	9.25	0	17	12
17.01.08	1	9.75	0	23	14
17.01.08	2	9.00	0	17	10
17.01.08	3	8.75	0	20	13
17.01.08	4	8.88	0	17	5
17.01.08	5	10.13	0	14	10
17.01.08	6	9.00	31	8	7
17.01.08	7	10.50	260	9	9
17.01.08	8	11.13	217	7	8
17.01.08	9	10.75	87	10	10
17.01.08	10	8.64	0	11	7
17.01.08	11	8.16	0	9	8
17.01.08	12	8.83	0	8	9
17.01.08	13	7.58	155	11	7

1	2	3	4	5	6
17.01.08	14	10.56	155	12	6
17.01.08	15	9.50	27	9	8
17.01.08	16	9.41	87	13	6
17.01.08	17	7.78	0	10	7
17.01.08	18	6.72	0	14	11
17.01.08	19	9.02	233	13	10
17.01.08	20	9.79	303	15	11
17.01.08	21	9.02	87	13	9
17.01.08	22	8.83	0	18	10
17.01.08	23	9.41	248	16	8
18.01.08	0	8.16	0	14	12
18.01.08	1	7.97	0	17	9
18.01.08	2	7.39	0	13	11
18.01.08	3	7.39	0	15	8
18.01.08	4	8.83	0	17	10
18.01.08	5	8.64	264	14	11
18.01.08	6	8.45	102	16	10
18.01.08	7	7.49	0	12	8
18.01.08	8	5.57	0	15	10
18.01.08	9	5.09	0	17	9
18.01.08	10	8.06	310	14	11
18.01.08	11	9.02	31	14	11
18.01.08	12	8.83	99	19	14
18.01.08	13	9.22	174	19	13
18.01.08	14	8.26	0	17	9
18.01.08	15	7.97	0	15	14
18.01.08	16	8.93	0	18	11
18.01.08	17	9.02	0	14	8
18.01.08	18	8.35	0	12	11
18.01.08	19	7.87	124	10	6
18.01.08	20	8.45	124	11	9
18.01.08	21	7.87	0	9	8
18.01.08	22	7.39	0	8	10
18.01.08	23	7.20	0	10	9
19.01.08	0	6.62	0	11	8
19.01.08	1	6.24	0	9	9
19.01.08	2	6.24	0	8	10
19.01.08	3	7.01	0	11	11
19.01.08	4	7.87	180	13	6
19.01.08	5	7.01	186	14	8
19.01.08	6	7.39	0	14	7
19.01.08	7	7.68	0	16	9
19.01.08	8	7.49	0	18	9
19.01.08	9	7.49	0	15	8

1	2	3	4	5	6
19.01.08	10	7.97	155	14	13
19.01.08	11	9.02	217	19	9
19.01.08	12	9.22	155	19	10
19.01.08	13	9.31	87	22	9
19.01.08	14	8.35	0	17	10
19.01.08	15	9.02	310	18	12
19.01.08	16	10.75	0	12	9
19.01.08	17	9.50	304	19	11
19.01.08	18	8.26	0	18	9
19.01.08	19	9.12	372	16	10
19.01.08	20	9.79	124	15	8
19.01.08	21	9.79	118	14	10
19.01.08	22	9.12	0	12	11
19.01.08	23	9.02	0	14	12
20.01.08	0	8.26	0	17	10
20.01.08	1	8.35	0	16	11
20.01.08	2	7.39	0	6	8
20.01.08	3	7.10	0	12	12
20.01.08	4	7.01	0	18	10
20.01.08	5	7.01	0	15	12
20.01.08	6	7.39	0	16	10
20.01.08	7	9.22	0	14	7
20.01.08	8	8.64	0	12	9
20.01.08	9	9.98	0	15	9
20.01.08	10	10.60	0	5	7
20.01.08	11	9.40	0	8	10
20.01.08	12	8.10	0	10	6
20.01.08	13	9.50	279	12	10
20.01.08	14	10.00	335	11	9
20.01.08	15	10.00	0	13	7
20.01.08	16	10.40	0	14	7
20.01.08	17	10.70	0	13	8
20.01.08	18	8.90	0	18	6
20.01.08	19	9.70	0	15	8
20.01.08	20	9.30	93	16	10
20.01.08	21	10.00	217	18	9
20.01.08	22	11.70	186	21	8
20.01.08	23	10.70	118	16	11
21.01.08	0	9.60	0	10	10
21.01.08	1	9.60	0	11	6
21.01.08	2	9.10	0	13	8
21.01.08	3	8.90	0	12	8
21.01.08	4	7.60	0	11	11
21.01.08	5	7.50	0	13	9

1	2	3	4	5	6
21.01.08	6	7.60	0	15	10
21.01.08	7	8.30	0	13	14
21.01.08	8	8.40	0	14	9
21.01.08	9	8.10	0	17	11
21.01.08	10	7.50	0	14	10
21.01.08	11	7.40	0	16	9
21.01.08	12	7.00	0	15	10
21.01.08	13	6.60	0	2	16
21.01.08	14	6.80	0	17	10
21.01.08	15	7.70	109	15	9
21.01.08	16	7.20	124	14	10
21.01.08	17	7.20	93	13	8
21.01.08	18	8.00	0	14	10
21.01.08	19	7.70	288	12	10
21.01.08	20	7.50	0	15	12
21.01.08	21	7.90	0	17	9
21.01.08	22	7.90	62	13	11
21.01.08	23	7.90	124	15	9
22.01.08	0	7.70	0	18	12
22.01.08	1	8.00	0	14	10
22.01.08	2	7.20	0	17	13
22.01.08	3	7.10	0	13	11
22.01.08	4	7.80	310	16	9
22.01.08	5	8.50	118	14	10
22.01.08	6	7.90	0	13	8
22.01.08	7	8.70	248	14	10
22.01.08	8	8.80	397	12	10
22.01.08	9	9.70	279	15	11
22.01.08	10	10.60	310	13	9
22.01.08	11	10.30	25	16	11
22.01.08	12	8.90	62	12	13
22.01.08	13	9.60	450	14	12
22.01.08	14	9.70	102	16	11
22.01.08	15	10.20	0	16	9
22.01.08	16	11.30	403	12	10
22.01.08	17	11.10	211	10	11
22.01.08	18	9.80	0	12	12
22.01.08	19	9.10	0	11	10
22.01.08	20	8.70	0	11	11
22.01.08	21	8.30	0	13	7
22.01.08	22	7.90	0	12	8
22.01.08	23	7.50	0	19	8
23.01.08	0	7.30	0	16	7
23.01.08	1	7.60	0	12	9

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
23.01.08	2	6.60	0	13	10
23.01.08	3	7.44	0	18	9
23.01.08	4	7.56	0	12	6
23.01.08	5	7.80	0	10	8
23.01.08	6	7.44	0	13	8
23.01.08	7	9.00	0	8	6
23.01.08	8	8.76	0	12	8
23.01.08	9	9.12	155	16	12
23.01.08	10	10.32	310	12	7
23.01.08	11	9.60	149	14	5
23.01.08	12	9.60	0	13	6
23.01.08	13	9.00	0	12	5
23.01.08	14	8.52	0	14	8
23.01.08	15	9.84	186	15	8
23.01.08	16	10.80	279	13	9
23.01.08	17	9.84	149	15	11
23.01.08	18	9.84	0	16	13
23.01.08	19	8.76	0	14	17
23.01.08	20	9.00	124	12	15
23.01.08	21	9.60	0	14	11
23.01.08	22	10.92	186	9	13
23.01.08	23	10.32	304	14	15
24.01.08	0	9.48	0	12	13
24.01.08	1	9.36	0	15	11
24.01.08	2	8.52	0	13	13
24.01.08	3	8.16	0	16	15
24.01.08	4	7.92	0	14	10
24.01.08	5	7.68	0	15	12
24.01.08	6	7.32	0	13	8
24.01.08	7	5.76	0	16	7
24.01.08	8	5.76	0	14	9
24.01.08	9	5.76	0	13	10
24.01.08	10	7.56	233	12	9
24.01.08	11	7.20	16	15	9
24.01.08	12	7.68	202	13	11
24.01.08	13	7.80	164	14	8
24.01.08	14	8.04	0	12	7
24.01.08	15	8.04	0	13	8
24.01.08	16	7.68	124	13	7
24.01.08	17	7.80	99	10	6
24.01.08	18	7.80	0	11	9
24.01.08	19	7.92	288	10	10
24.01.08	20	7.80	102	15	10
24.01.08	21	7.20	0	9	13

1	2	3	4	5	6
24.01.08	23	8.40	310	12	13
25.01.08	0	8.04	0	17	8
25.01.08	1	8.40	0	13	13
25.01.08	2	8.28	0	9	14
25.01.08	3	3.96	0	16	11
25.01.08	4	7.08	0	14	12
25.01.08	5	7.08	0	10	18
25.01.08	6	7.08	62	13	9
25.01.08	7	7.08	242	12	10
25.01.08	8	7.44	0	10	9
25.01.08	9	7.68	0	9	11
25.01.08	10	8.40	242	10	10
25.01.08	11	8.64	248	9	13
25.01.08	12	8.16	31	10	11
25.01.08	13	8.16	87	11	10
25.01.08	14	8.40	0	10	14
25.01.08	15	8.28	0	12	10
25.01.08	16	8.88	279	10	9
25.01.08	17	8.88	31	16	10
25.01.08	18	8.28	202	14	11
25.01.08	19	9.24	102	15	12
25.01.08	20	9.24	0	17	10
25.01.08	21	9.72	0	16	9
25.01.08	22	9.24	248	18	10
25.01.08	23	9.00	248	15	10
26.01.08	0	8.52	0	13	11
26.01.08	1	8.76	0	17	8
26.01.08	2	8.16	0	13	9
26.01.08	3	7.92	0	13	8
26.01.08	4	8.04	0	17	8
26.01.08	5	9.00	118	13	9
26.01.08	6	8.64	0	10	8
26.01.08	7	9.00	124	13	8
26.01.08	8	11.04	403	9	11
26.01.08	9	11.40	87	11	7
26.01.08	10	11.76	0	11	10
26.01.08	11	11.64	0	9	9
26.01.08	12	10.80	0	9	12
26.01.08	13	10.20	0	12	7
26.01.08	14	9.60	189	13	10
26.01.08	15	10.80	425	14	12
26.01.08	16	11.52	0	12	11
26.01.08	17	10.68	0	11	10
26.01.08	18	11.04	279	13	8

1	2	3	4	5	6
26.01.08	19	12.60	335	10	12
26.01.08	20	11.52	118	9	9
26.01.08	21	12.72	0	14	10
26.01.08	22	11.40	0	12	13
26.01.08	23	10.68	0	11	10
27.01.08	0	6.48	0	10	11
27.01.08	1	6.24	0	14	10
27.01.08	2	6.00	0	11	12
27.01.08	3	5.76	0	13	11
27.01.08	4	5.88	0	10	12
27.01.08	5	8.76	0	14	12
27.01.08	6	8.76	0	11	14
27.01.08	7	8.04	0	13	13
27.01.08	8	8.76	93	12	14
27.01.08	9	10.80	279	11	12
27.01.08	10	10.56	242	10	13
27.01.08	11	10.08	0	10	11
27.01.08	12	10.08	0	12	12
27.01.08	13	10.56	186	17	13
27.01.08	14	11.16	428	14	11
27.01.08	15	11.04	0	12	17
27.01.08	16	10.80	62	10	15
27.01.08	17	10.68	124	15	10
27.01.08	18	12.00	31	15	12
27.01.08	19	11.88	397	16	14
27.01.08	20	11.16	0	14	11
27.01.08	21	12.72	0	15	13
27.01.08	22	11.88	0	11	10
27.01.08	23	10.68	0	13	9
28.01.08	0	9.24	0	14	11
28.01.08	1	8.88	0	12	13
28.01.08	2	8.16	0	16	10
28.01.08	3	8.16	0	13	11
28.01.08	4	8.16	0	16	9
28.01.08	5	7.92	0	15	13
28.01.08	6	6.36	31	12	11
28.01.08	7	6.12	214	13	8
28.01.08	8	6.12	397	13	10
28.01.08	9	6.24	0	12	9
28.01.08	10	11.76	93	10	11
28.01.08	11	10.08	140	14	8
28.01.08	12	9.84	0	14	9
28.01.08	13	10.08	78	12	9
28.01.08	14	12.00	304	13	7

1	2	3	4	5	6
28.01.08	15	12.00	0	14	9
28.01.08	16	13.20	264	12	10
28.01.08	17	11.52	189	14	11
28.01.08	18	11.04	0	11	16
28.01.08	19	13.08	105	10	17
28.01.08	20	11.16	56	11	14
28.01.08	21	11.64	186	13	13
28.01.08	22	12.24	341	8	14
28.01.08	23	11.76	87	10	12
29.01.08	0	10.68	0	12	18
29.01.08	1	10.32	0	13	14
29.01.08	2	9.60	0	11	17
29.01.08	3	9.36	0	12	17
29.01.08	4	9.00	0	17	14
29.01.08	5	8.76	0	16	15
29.01.08	6	8.40	0	21	13
29.01.08	7	8.76	0	16	16
29.01.08	8	8.64	62	19	11
29.01.08	9	9.72	310	21	15
29.01.08	10	9.48	242	19	18
29.01.08	11	8.64	0	20	17
29.01.08	12	8.40	0	19	15
29.01.08	13	10.92	310	16	13
29.01.08	14	11.28	304	14	12
29.01.08	15	11.40	0	15	10
29.01.08	16	13.56	434	15	13
29.01.08	17	11.28	180	14	11
29.01.08	18	10.56	0	12	10
29.01.08	19	9.72	0	15	11
29.01.08	20	11.88	248	14	8
29.01.08	21	11.76	310	16	12
29.01.08	22	10.80	56	15	13
29.01.08	23	9.96	0	13	10
30.01.08	0	9.60	0	14	9
30.01.08	1	9.36	0	16	10
30.01.08	2	9.36	0	12	8
30.01.08	3	9.12	0	14	10
30.01.08	4	8.88	0	16	12
30.01.08	5	8.64	0	14	11
30.01.08	6	8.16	0	16	16
30.01.08	7	8.52	0	13	14
30.01.08	8	8.52	0	14	11
30.01.08	9	9.60	465	12	13
30.01.08	10	10.20	118	17	12

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
30.01.2008	11	9.36	0	13	15
30.01.08	12	9.72	217	12	16
30.01.08	13	11.40	397	10	12
30.01.08	14	10.08	0	12	10
30.01.08	15	11.40	186	14	10
30.01.08	16	11.76	372	12	12
30.01.08	17	11.04	0	10	8
30.01.08	18	9.72	0	14	10
30.01.08	19	9.60	31	15	14
30.01.08	20	11.28	279	14	11
30.01.08	21	11.28	304	13	11
30.01.08	22	11.04	0	12	10
30.01.08	23	9.60	0	13	10
31.01.08	0	9.00	0	15	12
31.01.08	1	8.64	0	15	13
31.01.08	2	8.40	0	16	12
31.01.08	3	8.52	0	15	12
31.01.08	4	8.40	155	14	15
31.01.08	5	8.40	0	12	14
31.01.08	6	10.32	155	10	14
31.01.08	7	9.84	304	13	16
31.01.08	8	11.04	0	12	10
31.01.08	9	12.60	0	5	14
31.01.08	10	12.36	248	15	13
31.01.08	11	11.52	310	11	12
31.01.08	12	11.64	56	12	13
31.01.08	13	10.32	0	12	14
31.01.08	14	10.56	310	15	12
31.01.08	15	10.92	428	18	12
31.01.08	16	11.64	434	10	15
31.01.08	17	11.16	56	16	9
31.01.08	18	9.96	0	21	12
31.01.08	19	11.16	233	17	18
31.01.08	20	10.80	357	18	13
31.01.08	21	10.32	0	16	10
31.01.08	22	10.20	202	17	10
31.01.08	23	9.48	0	13	10
01.02.08	0	9.24	0	18	12
01.02.08	1	8.88	0	15	18
01.02.08	2	8.64	0	15	11
01.02.08	3	7.32	0	17	16
01.02.08	4	7.02	0	19	12
01.02.08	5	7.02	0	13	12
01.02.08	6	6.56	0	12	11

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
01.02.08	7	7.82	0	11	12
01.02.08	8	8.28	0	12	10
01.02.08	9	8.05	0	12	11
01.02.08	10	8.51	0	10	9
01.02.08	11	7.71	0	11	11
01.02.08	12	7.48	0	11	11
01.02.08	13	7.48	0	10	12
01.02.08	14	6.90	0	12	13
01.02.08	15	6.90	0	11	10
01.02.08	16	6.67	0	10	12
01.02.08	17	6.44	0	11	12
01.02.08	18	6.44	31	15	15
01.02.08	19	6.44	335	14	12
01.02.08	20	7.25	0	13	10
01.02.08	21	7.82	233	12	10
01.02.08	22	7.59	65	13	12
01.02.08	23	7.82	99	15	13
02.02.08	0	7.36	217	16	12
02.02.08	1	7.48	0	15	15
02.02.08	2	6.90	0	15	14
02.02.08	3	7.13	0	16	14
02.02.08	4	7.36	0	14	15
02.02.08	5	7.94	0	13	12
02.02.08	6	7.36	186	12	13
02.02.08	7	8.86	310	15	14
02.02.08	8	8.63	118	10	12
02.02.08	9	9.55	0	17	13
02.02.08	10	8.97	217	17	14
02.02.08	11	8.74	0	15	12
02.02.08	12	8.40	372	13	12
02.02.08	13	9.55	149	14	14
02.02.08	14	9.09	0	17	13
02.02.08	15	10.24	341	15	14
02.02.08	16	10.81	273	16	12
02.02.08	17	10.24	0	17	12
02.02.08	18	9.32	0	13	12
02.02.08	19	9.09	62	13	14
02.02.08	20	11.64	465	12	12
02.02.08	21	11.04	87	14	13
02.02.08	22	10.68	0	10	11
02.02.08	23	10.32	0	13	10
03.02.08	0	9.96	0	11	11
03.02.08	1	8.52	0	12	12
03.02.08	2	8.28	0	14	13

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
03.02.08	3	7.44	0	16	12
03.02.08	4	7.20	0	18	15
03.02.08	5	8.04	0	12	14
03.02.08	6	7.80	186	17	16
03.02.08	7	9.48	310	15	14
03.02.08	8	9.84	118	17	12
03.02.08	9	10.08	0	14	13
03.02.08	10	10.20	388	16	9
03.02.08	11	9.48	0	12	13
03.02.08	12	9.00	0	11	15
03.02.08	13	8.52	0	11	11
03.02.08	14	8.52	0	11	12
03.02.08	15	8.04	0	12	13
03.02.08	16	8.28	0	10	10
03.02.08	17	8.16	47	14	12
03.02.08	18	8.16	124	14	10
03.02.08	19	8.64	56	16	12
03.02.08	20	8.52	0	13	12
03.02.08	21	8.76	217	13	12
03.02.08	22	8.16	50	14	13
03.02.08	23	7.80	0	16	13
04.02.08	0	7.92	0	15	14
04.02.08	1	7.56	0	16	17
04.02.08	2	7.80	0	16	14
04.02.08	3	7.56	0	16	17
04.02.08	4	8.28	0	14	15
04.02.08	5	7.20	0	15	15
04.02.08	6	8.40	167	15	14
04.02.08	7	8.76	180	13	14
04.02.08	8	9.12	62	12	11
04.02.08	9	10.08	310	11	11
04.02.08	10	9.96	242	11	11
04.02.08	11	9.60	0	6	5
04.02.08	12	8.64	186	9	11
04.02.08	13	9.96	217	13	11
04.02.08	14	9.60	124	13	12
04.02.08	15	10.56	87	12	11
04.02.08	16	10.32	31	13	11
04.02.08	17	10.08	0	12	9
04.02.08	18	9.36	0	17	13
04.02.08	19	9.36	0	16	14
04.02.08	20	9.24	0	17	15
04.02.08	21	8.76	217	17	16
04.02.08	22	8.28	0	18	14

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
04.02.08	23	7.92	0	19	14
05.02.08	0	7.68	0	15	14
05.02.08	1	7.92	0	16	13
05.02.08	2	7.92	0	17	13
05.02.08	3	7.32	0	14	12
05.02.08	4	7.08	0	16	13
05.02.08	5	7.20	0	11	13
05.02.08	6	6.84	0	11	12
05.02.08	7	6.96	0	11	11
05.02.08	8	6.60	0	10	12
05.02.08	9	6.60	0	12	11
05.02.08	10	6.48	0	10	13
05.02.08	11	6.48	0	9	12
05.02.08	12	7.56	0	11	10
05.02.08	13	8.04	381	10	11
05.02.08	14	8.52	0	12	11
05.02.08	15	7.80	0	11	9
05.02.08	16	8.28	0	10	11
05.02.08	17	7.92	298	15	14
05.02.08	18	8.76	105	14	17
05.02.08	19	8.52	211	18	20
05.02.08	20	7.68	0	18	18
05.02.08	21	7.80	0	16	14
05.02.08	22	7.20	0	18	19
05.02.08	23	7.44	0	16	15
06.02.08	0	7.68	0	13	19
06.02.08	1	6.72	0	13	11
06.02.08	2	6.72	0	13	17
06.02.08	3	6.72	0	12	12
06.02.08	4	6.48	0	11	11
06.02.08	5	6.36	0	11	10
06.02.08	6	7.20	0	13	13
06.02.08	7	7.56	155	14	14
06.02.08	8	7.20	186	16	14
06.02.08	9	7.08	0	15	13
06.02.08	10	8.04	0	17	14
06.02.08	11	8.64	527	15	14
06.02.08	12	7.92	0	16	14
06.02.08	13	7.32	87	16	14
06.02.08	14	7.92	0	12	10
06.02.08	15	7.20	0	12	13
06.02.08	16	8.04	310	13	12
06.02.08	17	9.00	217	14	16
06.02.08	18	8.40	0	12	15

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
06.02.08	19	9.00	0	11	13
06.02.08	20	9.24	0	15	15
06.02.08	21	9.00	217	17	14
06.02.08	22	8.64	341	15	15
06.02.08	23	8.76	56	13	13
07.02.08	0	8.28	0	15	15
07.02.08	1	8.40	0	15	14
07.02.08	2	7.44	0	14	15
07.02.08	3	8.64	0	12	16
07.02.08	4	7.80	0	13	14
07.02.08	5	8.52	0	13	14
07.02.08	6	7.68	388	15	13
07.02.08	7	7.44	93	17	16
07.02.08	8	7.32	0	14	12
07.02.08	9	7.08	0	9	10
07.02.08	10	6.96	0	9	11
07.02.08	11	6.96	0	11	12
07.02.08	12	7.08	0	18	16
07.02.08	13	8.04	0	10	15
07.02.08	14	8.16	233	11	17
07.02.08	15	8.28	202	10	13
07.02.08	16	8.76	62	15	13
07.02.08	17	9.72	0	15	13
07.02.08	18	10.08	0	16	19
07.02.08	19	11.04	186	18	14
07.02.08	20	9.72	47	17	17
07.02.08	21	10.32	217	16	20
07.02.08	22	10.32	397	18	21
07.02.08	23	9.12	0	16	20
08.02.08	0	9.12	0	15	19
08.02.08	1	8.76	0	16	22
08.02.08	2	10.12	0	17	20
08.02.08	3	10.12	0	15	18
08.02.08	4	9.00	0	17	15
08.02.08	5	9.00	0	16	15
08.02.08	6	8.88	0	4	17
08.02.08	7	10.08	248	3	16
08.02.08	8	8.64	0	3	16
08.02.08	9	9.84	0	15	14
08.02.08	10	10.20	279	14	15
08.02.08	11	8.40	87	11	13
08.02.08	12	7.92	0	13	14
08.02.08	13	7.68	248	17	20
08.02.08	14	10.08	366	17	19

1	2	3	4	5	6
08.02.08	15	9.60	0	20	18
08.02.08	16	10.32	109	12	17
08.02.08	17	10.92	171	10	17
08.02.08	18	10.80	124	18	14
08.02.08	19	10.44	155	14	15
08.02.08	20	10.08	56	16	14
08.02.08	21	10.08	0	15	15
08.02.08	22	9.84	0	16	16
08.02.08	23	9.36	0	15	14
09.02.08	0	8.76	0	13	13
09.02.08	1	9.60	0	15	10
09.02.08	2	10.32	0	14	11
09.02.08	3	8.52	0	9	12
09.02.08	4	7.68	0	11	15
09.02.08	5	7.44	93	10	17
09.02.08	6	6.84	186	10	14
09.02.08	7	7.92	186	11	16
09.02.08	8	8.16	149	11	15
09.02.08	9	10.32	0	9	14
09.02.08	10	11.28	124	10	15
09.02.08	11	9.60	0	9	12
09.02.08	12	10.32	0	10	12
09.02.08	13	11.40	186	8	14
09.02.08	14	10.92	310	10	13
09.02.08	15	11.52	118	10	13
09.02.08	16	11.40	0	10	11
09.02.08	17	9.96	0	13	15
09.02.08	18	10.56	62	14	16
09.02.08	19	11.16	552	18	21
09.02.08	20	10.20	0	21	22
09.02.08	21	9.60	0	18	21
09.02.08	22	10.92	93	10	15
09.02.08	23	10.68	0	9	12
10.02.08	0	9.60	0	10	14
10.02.08	1	8.76	0	11	16
10.02.08	2	8.04	0	11	15
10.02.08	3	7.68	0	9	14
10.02.08	4	7.68	0	10	15
10.02.08	5	8.16	0	9	12
10.02.08	6	8.40	465	10	12
10.02.08	7	6.72	149	8	14
10.02.08	8	6.96	0	10	13
10.02.08	9	7.56	0	10	13
10.02.08	10	9.60	614	10	11

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Программа «ПРОГНОЗ»

Programma

Первый файл для хранения базы данных

```
import statistics
```

```
import numpy as np
```

```
import json
```

```
C_j=[]; V_j=[]; A_j=[]; Data30days=[];
```

```
A_AllDays=[]; I_AllDays=[];
```

```
#исходные данные.
```

```
#необходимо фиксировать данные в течении 30 суток
```

```
for day in range(30):
```

```
    #начало цикла сбора данных в течении 24 часов
```

```
    #запишите дату
```

```
    Den = float(input("Enter the number of the day: "))
```

```
    #здесь необходимо каждый час записывать значение
```

```
    #вносятся пользователем из внешнего источника одновременно
```

```
    #один раз в час в течение суток
```

```
    for hour in range(24):
```

```
        #массив концентрации метана;
```

```
        C = float(input("Enter the value for C: "))
```

```
        C_j.append(C)
```

```
        #массив скорости воздуха;
```

```
        V = float(input("Enter the value for V: "))
```

```
        V_j.append(V)
```

```
        #массив объема добычи;
```

```
        A = float(input("Enter the value for A: "))
```

```
        A_j.append(A)
```

```
        #posle togo kak 24 raza bilo zapisano program prosit zapisat
```

```
    #массив сечений выработки
```

```
    S_t = float(input("Enter the number of the S: "))
```

```

#массив акустической эмиссии
E_t = float(input("Enter the number of the E: "))
#в конце каждых суток происходит расчет
#расчет среднесуточных значений концентрации C and дебита воздуха
C_mean=statistics.mean(C_j);
V_mean=statistics.mean(V_j);
#summa A
A_sum=sum(A_j);
#расчет среднесуточной метанообильности по среднечасовым данным:
I_t=(C_mean*V_mean*60*S_t)/100;
#создание базы
DataOneDay=[Den, I_t, A_sum, E_t];
Data30days.append(DataOneDay);
A_AllDays.append(A_sum);
I_AllDays.append(I_t);
#вывести базу на экран
print('Data Base for 30 days', Data30days)
#по данным таблицы строятся матрицы
X_matrix=np.column_stack((A_AllDays[2:], A_AllDays[1:-1], A_AllDays[:-2]))
Y_matrix=(I_AllDays[2:])
#находим транспонированную матрицу
X_matrixT=X_matrix.transpose()
#находим произведение матриц
X_XT=np.dot(X_matrixT,X_matrix)
#находим обратную матрицу
X_XTinv=np.linalg.inv(X_XT);
#находим произведение матриц
XT_Y=np.dot(X_matrixT,Y_matrix)
#находим коэффициенты модели
B=np.dot(X_XTinv,XT_Y)

```

```

#расчет количества элементов матрицы A
num_rows=A_AllDays.shape[0]
I_predAll=[]
#расчет прогнозных значений по уравнению регрессии:
for i in range (2, num_rows):
    I_pred=B[0]*A_AllDays[i]+B[1]*A_AllDays[i-1]+B[2]*A_AllDays[i-2]
    I_predAll.append(I_pred)
I_predAll=np.array(I_predAll)
#вывод на экран предсказанных значений
print('I predicted', I_predAll)
#расчет эпсилон
Epsilon=np.subtract(I_AllDays[2:], I_predAll)
#составляет два ряда. смещаем на единицу вниз
E1=Epsilon[1:];
E2=Epsilon[:-1];
#рассчитываем коэффициент
Corr=np.corrcoef(E1,E2)
Corr=Corr[0,1]
print('Correlation coefficient Epsilon=', Corr)
I_PredAllCorr=[]
#расчет прогнозных значений метанообильности по модели
#модель с учетом ошибки:
#расчет прогнозных значений по уравнению регрессии:
for i in range (3, num_rows):
    I_predCorr=B[0]*A_AllDays[i]+B[1]*A_AllDays[i-1]+B[2]*A_AllDays[i-2]+Corr*Epsilon[i-3]
    I_PredAllCorr.append(I_predCorr)
#Сохранение в файле коэффициентов модели
team={}
team['Coeff']=list(B)

```

```

team['Corr']=Corr
team['Eps']=list(Epsilon)
team['A_AllDays']=list(A_AllDays)
team['I_AllDays']=list(I_AllDays)
team['Ipred_AllDays']=list(I_PredAllCorr)
with open('mymodel.json', 'w') as f:
    json.dump(team, f)

```

Конец первого файла

В следующем файле нужно вводить значение среднее за сутки и уже построенная модель будет предсказывать:

```

#Расчет прогнозного значения метанообильности на сутки вперед
#Когда модель будет уже построена по 30 суткам
import json
import numpy as np
#записать все значения
#массив концентрации метана;
C_mean = float(input("Enter the mean value for C: "))
#массив скорости воздуха
V_mean = float(input("Enter the mean value for V: "))
#массив объема добычи;
A_sum = float(input("Enter the mean value for A: "))
#массив сечений выработки
S_t = float(input("Enter the number of the S: "))
#массив акустической эмиссии
E_t = float(input("Enter the number of the E: "))
#расчет среднесуточной метанообильности по среднечасовым данным:
I_t=(C_mean*V_mean*60*S_t)/100;
# открыть файл с коэффициентами модели
f=open('mymodel.json')

```

```

team=json.load(f)
B=np.array(team['Coeff'])
CorrC=np.array(team['Corr'])
EpsE=np.array(team['Eps'])
A_All=(team['A_AllDays'])
I_All=(team['I_AllDays'])
Ipred_All=team['Ipred_AllDays']
#присоединить текущее значение A к предыдущим
A_All.append(A_sum)
A_All=np.array(A_All)
num_day=A_All.shape[0]
#присоединить текущее значение I к предыдущим фактическим
I_All=np.append(I_All, I_t)
#прогнозное значение текущее
I_pred=B[0]*A_All[num_day-1]+B[1]*A_All[num_day-2]+B[2]*A_All[num_day-
3]+CorrC*EpsE[num_day-4]
print('I_predicted=' , I_pred)
#присоединить текущее значение I к прогнозным
Ipred_All=np.append(Ipred_All, I_pred)
#расчет текущего значения эпсилон для следующего прогноза
EpsToday=I_t-I_pred
#добавить в существующий массив и пересортировать файл
EpsE=np.append(EpsE, EpsToday)
team['Eps']=list(EpsE)
team['A_AllDays']=list(A_All)
team['I_AllDays']=list(I_All)
team['Ipred_AllDays']=list(Ipred_All)
with open('mymodel.json', 'w') as f:
    json.dump(team, f)
#расчет ошибки по модели:

```

```
#выбрать значения за предыдущие 28
I_last28days=I_All[-28:]
Ipred_last28days=Ipred_All[-28:]
#расчет разности между фактическим и прогнозным значением
absolute_diff = np.abs(I_last28days- Ipred_last28days)
# расчет ошибки
percentage_diff = (absolute_diff / I_last28days) * 100
delta = np.mean(percentage_diff)
print('Delta=', delta)
#если ошибка превышает 30% то на экран выводится сообщение
if delta>30:
    print('Модель не адекватна')
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты опытно-промышленной проверки разработанных технико-технологических решений

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе
ДонГТУ

проф. Н.Н. Заблодский

« 8 » 2012

УТВЕРЖДАЮ

Директор СП ш. «Молодогвардейская»
ПАО «Краснодонуголь»

А.Н. Нискевич

« 4 » 2012

А К Т

приемки в эксплуатацию

МЕТОДИКИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ МЕТАНООБИЛЬНОСТИ
ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕЁ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ
(патент на изобретение UA 87939 C2, 25.08.2009,
заявка на полезную модель U 2012 02037 от 22.02.12)

ПАРУСНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КРЕПИ ЗКД90Т
(патент на полезную модель UA 55339 U, 10.12.2010)

Комиссия в составе :

Председатель комиссии - главный инженер шахты Иванов Е.А.

Члены комиссии от шахты: начальник участка ВТБ Колесник А.А., главный геолог Шорников Н.П.,
главный маркшейдер Сарычев А.С., начальник добычного участка Кравченко А.В.от ДонГТУ: проф. д.т.н. Антощенко Н.И., канд. техн. наук. доц Павлов В.И., аспирант Бубунец Ю.В.,
аспирант Кулакова С.И., аспирант Филатьев М.В.

Настоящий акт составлен на основании проведенной опытно-промышленной проверки надёжности предлагаемого способа прогноза динамики метанообильности горных выработок и испытаний парусного устройства. В результате проведенных испытаний, комиссия установила, что прогноз метанообильности выемочного участка, выполненный на начальный период работы лав, включая, первичную посадку основной кровли, согласно заявке на полезную модель и на дальнейший период отработки выемочных участков согласно патенту на изобретение UA 87939 C2, 25.08.2009, подтвердился результатами шахтного мониторинга параметров метановоздушных потоков.

Комиссия также установила, что на основании выполненного прогноза метановыделения, регулирование метановоздушных потоков в очистном забое производилось с помощью парусного устройства, установленного на секциях механизированной крепи ЗКД90Т согласно патенту на полезную модель UA 55339 U, 10.12.2010. Шахтными испытаниями выявлено, что использование парусного устройства обеспечивает широкие возможности нормализации метановоздушной обстановки в очистном забое без осложнения технологических процессов по добыче угля.

На основе полученных положительных результатов испытаний методики и компьютерной программы прогноза метанообильности, а также парусного устройства к крепи ЗКД90Т комиссия рекомендует их к использованию при отработке выемочных участков на высокогазоносных угольных пластах.

Председатель комиссии - главный инженер шахты Иванов Е.А.

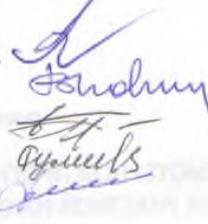
Члены комиссии от шахты:

- Колесник А.А.
- Шорников Н.П.
- Сарычев А.С.
- Кравченко А.В.



от ДонГТУ:

- Антощенко Н.И.
- Павлов В.И.
- Бубунец Ю.В.
- Кулакова С.И.
- Филатьев М.В.



УТВЕРЖДАЮ

Директор СП ш. «Молодогвардейская»
ПАО «Краснодонуголь»

А.Н. Нискевич

2012

ПРОТОКОЛ**опытно-промышленной проверки****МЕТОДИКИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ МЕТАНООБИЛЬНОСТИ
ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕЁ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ****и испытаний****ПАРУСНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КРЕПИ ЗКД90Т**

г. Молодогвардейск

4.04.2012

Комиссия в составе :

Председатель комиссии - главный инженер шахты Иванов Е.А.

Члены комиссии от шахты: начальник участка ВТБ Колесник А.А, главный геолог Шорников Н.П.,
главный маркшейдер Сарычев А.С.от ДонГТУ: проф. д.т.н. Антощенко Н.И., канд. техн. наук, доц Павлов В.И., аспирант Бубунец Ю.В.,
аспирант Кулакова С.И., аспирант Филатьев М.В.

Разработчиком методики и компьютерной программы прогноза динамики метанообильности выемочных участков на основе анализа её внутренней структуры является Донбасский государственный технический университет (патент на изобретение UA 87939 C2, 25.08.2009, заявка на корисну модель U 2012 02037 от 22.02.12). Отладка программного обеспечения проводилась по данным мониторинга условий отработки выемочных участков по пласту k₂: 25 Орловской лавы, 17 Орловской лавы, 26 Орловской лавы, 28 Орловской лавы, включающего контроль параметров метановоздушных потоков, дегазации, эксплуатационную доразведку участков и технико-экономические показатели работы лав.

Разработчиками парусного устройства является Донбасский государственный технический университет и ш. «Молодогвардейская» (патент на полезную модель UA 55339 U, 10.12.2010). Изготовление и монтаж устройства произведен работниками мехцеха СП шахты «Молодогвардейская».

Опытно-промышленная проверка и испытания проводились в 29 Орловской лаве пласта k₂ СП шахты «Молодогвардейская» ПАО «Краснодонуголь». Условия отработки выемочных участков в период опытно промышленной проверки приведены в табл.1.

При отработке 29 Орловской лавы пласта k2 применялась нормативная прямоточная схема проветривания ЗВ-Н-н-пт. Во время работы лавы выполнен мониторинг показателей, приведенный в приложении А. Прогноз участковой метанообильности приведен в приложении Б. Оценка надёжности выполненного прогноза приведена в приложении В.

Результаты опытно-промышленной проверки методики и компьютерной программы прогноза динамики метанообильности выемочных участков на основе анализа её внутренней структуры.

1. Методика позволяет прогнозировать среднесуточную динамику метанообильности с прогнозным горизонтом в 5 суток. Надёжность прогноза составляет 90%, ошибка составляет не более 15,8%.
2. Установлен временной интервал запаздывания среднесуточной метанообильности от среднесуточной акустической эмиссии, он составляет 2 суток.
3. Интервал запаздывания среднечасовой метанообильности участка от среднечасовой добычи в зависимости от периода цикличности последней составляет от 1 до 6 часов.
4. Выявленные при опытно-промышленной проверке прогнозные горизонты по влияющим факторам являются значимым запасом времени для корректировки технологии ведения горных работ. Предложенная методика по сравнению с действующими нормативными представляет новые технологические возможности по нормализации газовой обстановки на выемочном участке.

Испытания конструкции опытного образца парусного устройства проводилось с 1.07.09 по 31.12.09. Конструктивная доводка и согласование его функциональных возможностей с организацией работ при эксплуатации механизированного комплекса ЗМКД90 осуществлялись в период 1.01.10 по 31.03.12 в 30 и 34 Орловских лавах пласта k2.

Существующая проблема – из-за зависания труднообрушаемого песчаника в период до первичной посадки кровли в лавах возникали большие утечки воздуха и соответственно, уменьшалось количество воздуха в очистном забое. Такая же ситуация возникала за 2-3 суток перед вторичными осадками кровли. В эти периоды работа лавы постоянно прерывалась возникновением запредельных концентраций метана, особенно в нижней её части.

Для увеличения количества воздуха в призабойном пространстве очистного забоя был реализован способ проветривания комплексно-механизированных очистных забоев согласно патенту UA 55339 U, 10.12.2010), включающий установку в призабойном пространстве продольной перегородки вдоль линии очистного забоя. В качестве перегородки, изолирующей призабойное пространство от выработанного, использовались экраны из гибкого материала (материал гибкого вентиляционного рукава) с регулируемой площадью навески, смонтированные на каждой секции вплотную к задней стойке со стороны призабойного пространства и создающие сплошную поверхность по всей высоте призабойного пространства и длине лавы.

Дополнительно к проведенному мониторингу (приложение А) были произведены поперечные метановоздушные съёмки (приложение Г). В результате было установлено - снижение концентрация метана в зоне работы выемочного механизма и на исходящей струе воздуха из лавы вследствие его разбавления большим количеством воздуха, а также путем уменьшения его притечек из выработанного пространства (приложение Д). Это позволило уменьшить простои лавы из-за загазирования и увеличить суточную добычу.

За весь период опытно-промышленной проверки в 29 орловской лаве был установлен экономический эффект от внедренных изобретений в сумме 3294000 грн. Расчет экономического эффекта прилагается (приложение Е).

Председатель комиссии - главный инженер шахты Иванов Е.А.

Члены комиссии от шахты:

Колесник А.А.
Шорников Н.П.
Сарычев А.С.

от ДонГТУ:

Антощенко Н.И.
Павлов В.И.
Бубунец Ю.В.
Кулакова С.И.
Филатьев М.В.

Расчет годового экономического эффекта в ценах 2023 года

До проведения опытно-промышленной проверки эффективности парусного устройства среднесуточное подвигание очистного забоя 29 орловской лавы ш. «Молодогвардейская» составляло 2,9 м/сут. Применение парусного устройства позволило увеличить среднесуточное подвигание очистного забоя до 3,6 м/сут. Для расчета экономического эффекта составлена таблица 1, в которой приведены все необходимые показатели, согласно отчетным данным шахты.

Таблица 1 – Условия отработки выемочного участка 29 орловской лавы

№п/п	Наименование показателя	Ед.изм.	Значение показателя
1	2	3	4
1	Продолжительность отработки выемочного участка	мес.	8
2	Промышленные запасы участка / остаточные	тыс.т.	409
3	Нагрузка на очистной забой: без применения парусного устройства с применением парусного устройства	т/сут	1711 2167
4	Среднесуточная нагрузка на шахту	т/сут	2200
5	Система разработки	-	столбовая
6	Направление отработки выемочного участка	-	по простиранию
7	Направление движения забоя		обратным ходом
8	Способ управления кровлей	-	полное обрушение
9	Тип механизированного комплекса	-	ЗКД-90Т
10	Тип выемочной машины	-	2ГШ-68Б
11	Тип конвейера лавы	-	СПЦ-230
12	Способ выемки ниш	-	ОМ
13	Схема проветривания		ЗВ-Н-н-пт с газоотводом
14	Транспорт по выработкам, примыкающим к лаве: угля материалов и оборудования	- -	СП-250, КШЛ ЛВ-45, ДКН-1
15	Количество ступеней транспорта		две
16	Длина выемочного столба	м	920

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
17	Длина лавы	м	250
18	Мощность: вынимаемая / геологическая	м	2,2/1,6
19	Суточный штат рабочих на участке всего:	чел.	293
	в том числе:	чел.	4
	машинисты ГВМ, 6 разряд	чел.	8
	ГРОЗ в лаве, 5 разряд	чел.	16
	ГРОЗ на выемке и креплении ниш, 5 разряд	чел.	4
	электрослесари ремонта 5 разряд	чел.	4
	дежурные электрослесари 4 разряд	чел.	12
	МПУ 4 разряд	чел.	32
20	горнорабочие по ремонту горных выработок	чел.	20
	горнорабочие на прочих работах		
	Штат инженерно-технических работников (ИТР) на участке:		
	начальник участка	чел.	1
	зам. нач. участка	чел.	1
	пом. нач. участка	чел.	1
	механик участка	чел.	1
	горный мастер	чел.	9

В расчетах использованы материалы текущей бухгалтерской отчетности по элементам общешахтной себестоимости 1 т угля за период проведенной опытно-промышленной проверки. Исходя из достигнутого повышения среднесуточной производительности с 1711 т/сут до 2167 т/сут скорректированы элементы производственной себестоимости: заработная плата, начисление на заработную плату, материалы, нормируемые на 1000 т добычи. Достигнутое повышение нагрузки оплачивалось начислением премии дифференцированно по сдельщикам и повременщикам, включая и ИТР. В расчете проектной себестоимости учтено необходимое увеличение темпов проведения выработок для ускоренной подготовки новых выемочных участков по пласту k_2 (табл. 2).

Таблица 2 – Элементы затрат на добычу угля

Элементы затрат	Общешахтная себестоимость, руб/т	
	проектная	фактическая
Вспомогательные материалы	70,84	70,84
Заработная плата	77,87	78,00
Начисления на заработную плату	32,94	32,94
Амортизация	30,56	30,56
Топливо	1,09	1,09
Услуги производственного характера	96,10	96,07
Неучтенные затраты	11,62	11,62
Электроэнергия	12,23	12,25
Производственная себестоимость	336,32	337,92
Административные затраты	11,62	11,62
Расходы сбыт	5,95	5,94
Полная себестоимость	687,13	688,85

Годовой ожидаемый экономический эффект от снижения себестоимости и увеличения нагрузки оценен разностью между проектной прибылью при укомплектовании механизированной крепи 3М90Т парусным устройством и прибылью при работе механизированного комплекса без парусного устройства. Расчет произведен по формуле

$$E = (C_{\text{пр}} - C_{\text{пр}}) D_{\text{пр}} - (C_{\text{ф}} - C_{\text{ф}}) D_{\text{ф}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{пр}}$, $C_{\text{пр}}$, $D_{\text{пр}}$ – проектные показатели при применении парусного устройства соответственно цена угля марки К (коксующийся) руб/т, общешахтная себестоимость добычи угля руб/т, годовая добыча угля на выемочном участке т/год

$$D_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} \cdot n_{\text{дн}}, \quad (2)$$

где $A_{\text{пр}}$ – проектная суточная нагрузка на очистной забой, т/сут. ;
 $n_{\text{дн}}$ – количество рабочих дней в году.

$$D_{\text{пр}} = 2167 \cdot 360 = 780120 \text{ (т)}.$$

$C_{\text{ф}}$, $C_{\text{ф}}$, $D_{\text{ф}}$ – фактические показатели без применения парусного устройства соответственно цена угля марки К (коксуемый) руб/т, общешахтная себестоимость добычи угля руб/т, годовая добыча угля на выемочном участке т/год

$$D_{\text{ф}} = 1711 \cdot 360 = 615960 \text{ (т)}.$$

Тогда годовой ожидаемый экономический эффект составит:

$$E = (708,00 - 687,13) 780120 - (708,00 - 688,85) 615960 = 4485470 \text{ (руб)}.$$

Экономический эффект на внелавных процессах определен по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{кос}} = \frac{\gamma' \cdot C_{\text{ш}} \cdot D_{\text{ш}} \cdot n_{\text{г}}}{100} (\beta_0 - 1), \quad (3)$$

где γ' – удельный вес условно-постоянных расходов по звеньям, непосредственно обслуживающим один очистной забой, в общешахтной себестоимости угля, принят по данным таблицы 11 [1], $\gamma' = 1,15$;

$C_{\text{ш}}$ – себестоимость добычи 1 т угля по шахте без применения парусного устройства, руб/т;

$D_{\text{ш}}$ – среднесуточная нагрузка на шахту без парусного устройства;

$n_{\text{г}}$ – число рабочих дней в году;

β_0 – коэффициент роста нагрузки на лаву в результате применения парусного устройства:

$$\beta_0 = \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{б}}}, \quad (4)$$

$$\beta_0 = \frac{2167}{1711} = 1,27.$$

Тогда экономический эффект на внелавных процессах составит:

$$\mathcal{E}_{\text{кос}} = \frac{1,15 \cdot 688,85 \cdot 2200 \cdot 360}{100} (1,27 - 1) = 1693992 \text{ (руб)}.$$

Полный экономический эффект составит:

$$E_{\text{полн.}} = 4485470 + 1693992 = 6179462 \text{ (руб)}.$$

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)

пр. Ленина, 16, г. Алчевск, Луганская Народная Республика, 294204,
тел. +7 (85742) 2-60-43, факс +7 (85742) 2-68-87, e-mail: info@dstu.education

28.06.2023 № 464-11-03/25

На № _____ от _____

Диссертационный совет Д
001.007.01

при Федеральном государственном
бюджетном образовательном
учреждении
высшего образования
«Донбасский государственный
технический университет»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Кулаковой Светланы Ивановны «Обоснование параметров угледобычи механизированными комплексами в условиях высокой метанообильности», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая, строительная) в учебный процесс кафедры «Разработки месторождений полезных ископаемых» ФГБОУ ВО «ДонГТУ»

Материалы диссертации Кулаковой С. И. «Обоснование параметров угледобычи механизированными комплексами в условиях высокой метанообильности», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая, строительная), использованы в опубликованном учебно-методическом пособии [Кулакова С. И. Математическая статистика для горняков / Л. Е. Подлипенская, С. И. Кулакова. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. — 165 с.], рекомендованном Ученым советом ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ» для подготовки студентов по специальности 21.05.04 «Горное дело», специализация «Подземная разработка пластовых месторождений». Пособие используется в учебном процессе при выполнении курсовых, научно-исследовательских и дипломных проектов, а так же при проведении учебных занятий по дисциплине «Математическая статистика» для студентов по вышеуказанной специальности.

Первый проректор
канд. экон. наук, доцент

Начальник учебного центра
канд. техн. наук, доцент

Заведующий кафедрой
«Разработка месторождений
полезных ископаемых»

А. В. Кунченко

О. С. Балашова

О. Л. Кизияров