

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»
Акционерное общество «СУЭК-Кузбасс»

На правах рукописи

ЧЕРДАНЦЕВ Андрей Михайлович



**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ИНТЕНСИВНОЙ
ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ,
СКЛОННЫХ К САМОВОЗГОРАНИЮ**

**Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая
и строительная)**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель–
доктор технических наук,
доцент Казанин Олег Иванович**

Санкт-Петербург - 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	10
1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий отработки газоносных угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса	10
1.2 Анализ мирового опыта интенсивной отработки свит газоносных угольных пластов	17
1.3 Оценка эффективности применяемых технологических схем отработки свит газоносных угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса.....	36
1.4 Анализ и обобщение литературных источников по обоснованию параметров технологических схем интенсивной отработки склонных к самовозгоранию газоносных угольных пластов	50
1.5 Оценка газообильности выемочных участков при интенсивной отработке свит газоносных угольных пластов Соколовского месторождения	55
1.6 Выводы по первой главе.....	64
ГЛАВА 2 ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ.....	68
2.1 Выбор методики проведения исследований	68
2.2 Исследования влияния параметров применяемых технологических схем и интенсивности отработки на эффективность управления газовой выделением	70
2.3 Исследования влияния параметров применяемых схем дегазации выработанного пространства на эффективность управления газовой выделением.....	84
2.4 Оценка влияния геологической нарушенности на метанообильность выемочных участков	94
2.5 Выводы по второй главе.....	97

ГЛАВА 3 ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ.....	100
3.1 Выбор и обоснование аэрогазодинамических моделей для проведения численных исследований.....	100
3.2 Численные исследования влияния параметров технологических схем на эффективность управления газовыделением	103
3.3 Выводы по третьей главе	114
ГЛАВА 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ИНТЕНСИВНОЙ ОТРАБОТКИ СВИТ ГАЗОНОСНЫХ СКЛОННЫХ К САМОВОЗГОРАНИЮ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ	116
4.1 Обоснование параметров технологических схем интенсивной отработки мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов.....	116
4.2 Оценка экономической эффективности разработанных рекомендаций	122
4.3 Выводы по четвертой главе	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Повышение надежности и энерговооруженности очистного оборудования обеспечило в последнее десятилетие значительный рост нагрузок на очистные забои, а также изменение параметров выемочных столбов (увеличение длин лав и протяженности обрабатываемых выемочных столбов), что привело к существенному повышению газообильности выемочных участков и изменению их газового баланса в сторону увеличения доли газовыделения из выработанных пространств, особенно для мощных пластов. В условиях относительно небольших глубин ведения горных работ на шахтах Кузнецкого угольного бассейна при интенсивной отработке свит пологих газоносных угольных пластов длинными очистными забоями применяется управление газовыделением на выемочных участках, включающее комбинированную схему проветривания, дегазацию выработанного пространства с использованием вертикальных дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности, изолированный отвод метановоздушной смеси. Применение вертикальных дегазационных скважин обеспечивает удаление из выработанного пространства значительных объемов метановоздушной смеси (МВС) с высокой концентрацией метана, однако затраты на бурение дегазационных скважин при интенсивной отработке выемочных участков на глубинах более 350 м превышают затраты на проведение участковых подготовительных выработок и постоянно возрастают с увеличением глубины ведения горных работ.

С ростом затрат на управление газовыделением в условиях интенсивной отработки запасов необходим корректный выбор параметров технологических схем дегазации и изолированного отвода МВС, техническая возможность реализации которых в значительной степени зависят от принятых параметров подготовки выемочных участков. Кроме того, выбор способов управления газовыделением в условиях Кузбасса ограничивается склонностью 70% пластов к самовозгоранию, при отработке которых исключается применение схем проветривания, способов дегазации выработанного пространства и

изолированного отвода МВС, предусматривающих движение воздуха по всему выработанному пространству или значительной его части.

Вопросы отработки свит газоносных угольных пластов и управления газовыделением на выемочных участках рассмотрены в работах Айруни А.Т., Забурдяева В.С., Казанина О.И., Калединой Н.О., Качурина Н.М., Коликова К.С., Коршунова Г.И., Мельника В.В., Мясникова А.А., Пучкова Л.А., Рубана А.Д., Сластунова С.В., Шувалова Ю.В. и др. По результатам исследований разработаны нормативные документы, регламентирующие вопросы проектирования вентиляции, дегазации и изолированного отвода МВС. В тоже время, в условиях роста интенсивности отработки выемочных участков и увеличения их геометрических параметров (увеличение длин столбов, длин лав и мощностей разрабатываемых в один слой пластов) несоответствие фактических и прогнозируемых с использованием действующих нормативных документов параметров газовыделения в выработки выемочных участков приводит к загазированию выработок, дополнительным простоям, что не позволяет реализовать потенциал современных очистных механизированных комплексов (ОМК). Всё вышесказанное предопределяет актуальность вопросов обоснования параметров технологических схем интенсивной отработки свит газоносных угольных пластов, склонных к самовозгоранию.

Цель работы. Повышение эффективности отработки мощных пологих газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов, разрабатываемых в составе свит пластов на шахтах Кузбасса.

Идея работы. Эффективность отработки мощных пологих газоносных пластов, склонных к самовозгоранию, обеспечивается при использовании современных ОК в сочетании со схемами дегазации и изолированного отвода МВС, параметры которых определены на основе численного моделирования аэрогазодинамических процессов на выемочных участках с учетом затрат на их реализацию.

Основные задачи исследований:

1. Анализ российского и зарубежного опыта снятия ограничения нагрузки на очистные забои по газовому фактору при интенсивной разработке склонных к самовозгоранию газоносных угольных пластов.

2. Шахтные исследования влияния параметров схем подготовки, отработки и управления газовыделением на выемочных участках на эффективность управления газовыделением с целью снижения (полного снятия) ограничений нагрузки на очистные забои по газовому фактору.

3. Численные исследования влияния параметров подготовки и отработки выемочных участков, схем дегазации и изолированного отвода на предельно допустимую нагрузку на очистной забой по газовому фактору.

4. Разработка рекомендаций по определению оптимальных параметров схем подготовки, дегазации выработанного пространства и изолированного отвода метановоздушной смеси при интенсивной отработке склонных к самовозгоранию мощных газоносных угольных пластов.

5. Определение области рационального применения и оценка экономической эффективности разработанных рекомендаций.

Методология и методы исследований. Для решения поставленных задач использован комплексный метод, включающий анализ и обобщение теории и практики интенсивной отработки свит газоносных пластов; шахтные наблюдения за изменением газовыделения в выработки выемочных участков при различных параметрах технологических схем и способов управления газовыделением; экспериментально-аналитические исследования влияния параметров технологических схем на эффективность и безопасность интенсивной отработки запасов выемочных участков.

Научная новизна:

Установлены зависимости предельно допустимой нагрузки на очистной забой от параметров технологических схем, схем дегазации и изолированного отвода МВС для условий отработки пласта 52 Соколовского месторождения Кузбасса.

Установлены зависимости экономического эффекта от реализации рекомендуемой технологической схемы отработки мощных пологих газоносных угольных пластов от глубины ведения горных работ и доли выемочного участка с геологическими нарушениями для условий Соколовского месторождения Кузбасса.

Основные защищаемые положения:

1. При интенсивной отработке мощных пологих газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса длинными столбами необходимость дегазации разрабатываемого пласта, минимальное количество и место расположения вертикальных скважин, пробуренных с земной поверхности для дегазации выработанного пространства, обеспечивающих снятие ограничений нагрузки на очистной забой по газовому фактору, следует определять на основе моделирования аэрогазодинамических процессов на выемочных участках с учетом изолированного отвода метановоздушной смеси по ограниченной части выработанного пространства.

2. При подготовке выемочных участков спаренными выработками, разделенными неизвлекаемыми ленточными целиками, для снятия ограничений нагрузки на очистной забой по газовому фактору за счет эффективного изолированного отвода МВС по ограниченной части выработанного пространства следует применять два газоотсасывающих вентилятора, расположенных на противоположных флангах выемочного участка, при этом расстояние между сбойками не должно превышать 220 м.

3. Минимальные затраты на снятие ограничений нагрузки на очистной забой по газовому фактору при интенсивной отработке мощных пологих склонных к самовозгоранию угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса длинными столбами достигаются при применении комбинированной схемы проветривания с изолированным отводом свыше 600 м³/мин МВС и разработанных схем дегазации выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Обоснованы рациональные параметры расположения дегазационных скважин при интенсивной отработке мощных склонных к самовозгоранию угольных пластов с использованием рекомендуемых схем управления газовыделением в выработки выемочных участков для условий Соколовского месторождения Кузбасса. Разработаны рекомендации по выбору расстояния между сбойками при подготовке выемочных участков спаренными выработками с неизвлекаемыми ленточными целиками между ними. Определена предельно допустимая нагрузка на очистной забой по газовому фактору, обеспечиваемая при применении различных схем управления газовыделением при интенсивной отработке свит газоносных угольных пластов, склонных к самовозгоранию.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций.

Достоверность защищаемых положений, основных выводов и рекомендаций обеспечивается представительным объемом данных натурных наблюдений, использованием современных апробированных методов исследований; удовлетворительной сходимостью результатов натурных и численных исследований.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на: научных семинарах кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Санкт-Петербургского горного университета (2016-2018 гг.); II Международном горном инновационном симпозиуме (Кемерово, 2017), XXVI Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2018» (Москва, 2018), IV Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2018 г.).

Личный вклад автора. Сформулированы цель и задачи исследований, выбраны методики и проведены экспериментально-аналитические и шахтные наблюдения, обобщены результаты исследований, сформулированы основные научные положения и выводы.

Публикации. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 6 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 1 статье – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Структура и объем работы. Диссертационная работа общим объемом 145 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 115 источников, включает 66 рисунков и 18 таблиц.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ горно-геологических и горнотехнических условий отработки газоносных угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса

Общие сведения о разрабатываемом участке месторождения

Соколовское месторождение находится на территории Ерунаковского геолого-экономического района Кузнецкого угольного бассейна. Участки «Нижние горизонты шахты «Котинская», «Шахта №7», «Поле шахты Котинская» представляют собой единый участок недр в пределах Соколовского месторождения, разработку которого ведет шахта «им.В.Д.Ялевского» (бывшие шахты «Котинская» и «№7»). Исходя из условий рационального недропользования, шахтам определены технические границы, включающие в себя несколько геологических (лицензионных) участков. Участок «Нижние горизонты шахты «Котинская» является непосредственным продолжением участков «Поле шахты Котинская» и «Шахта №7» по падению и простиранию угленосной толщи.

Горно-геологические условия разработки

“В интервале угленосных отложений свиты, входящих в границы лицензионных участков «Нижние горизонты шахты «Котинская», «Поле шахты Котинская», «Шахта №7», содержится 13 угольных пластов” [87]: 49, 50, 51, 52, 53, 56, 57-56, 57 н.п., 57, 57 в.п., 58, 59, 60 (рисунок 1.1).

По мощности пласты разделяются следующим образом:

- мощные пласты: 50, 52, 58;
- пласты средней мощности: 49, 51, 53, 57-56, 57 н.п., 57, 59, 60;
- тонкие пласты: 56 и 57 в.п.

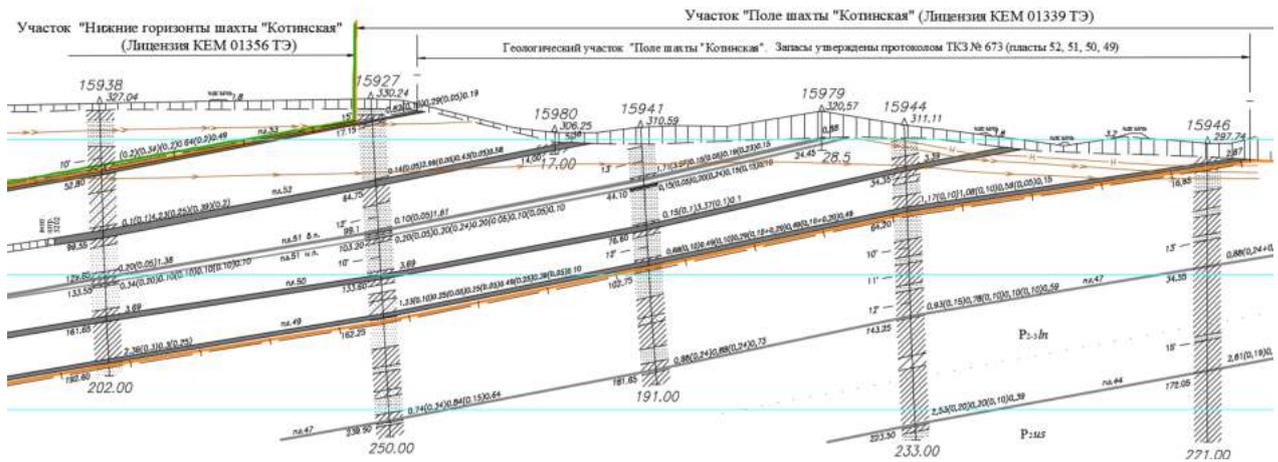


Рисунок 1.1 – Характерный разрез угленосной толщи

По сложности геологического строения в соответствии с данными [93]: “участки относятся к месторождениям 1-й группы «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых». Основной пликативной структурой участка является Соколовская синклиналь, которая на площади шахтного поля представлена северо-восточным пологим крылом”.

Характеристика основных разрабатываемых мощных пластов и их пластов спутников приведена в таблице 1.1. Основными разрабатываемыми пластами являются пласт 52 (рисунок 1.2 А) и пласт 50 (рисунок 1.2 Б).

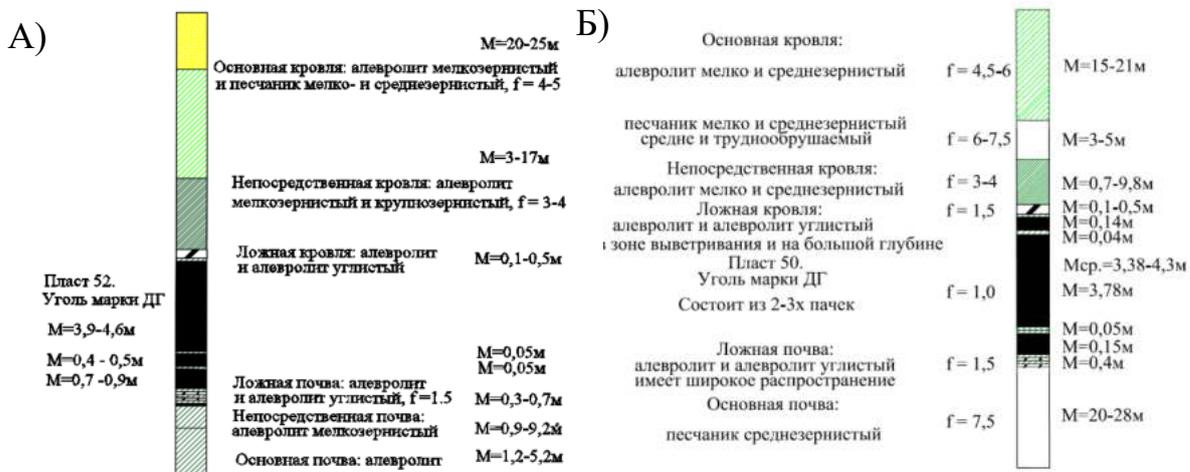


Рисунок 1.2 – Литологические колонки по пластам: А) 52; Б) 50

Таблица 1.1 – Краткая характеристика разрабатываемых мощных пластов и пластов спутников [87]

Пласт (группа по мощности)	Расстояние до вышеле- жащего пласта, м	Глубина залегания почвы пласта, м	Мощность пласта, м от-до/среднее (число определений)		Строение пласта. Преобладаю- щее число пачек	Мощность породных прослой- ков, м	Степень выдер- жанности
53 (средней мощности)	86-95 (до пл.56)	27,35- 374,80	0,87–2,07 1,34(192)	1,00–2,42 1,50(192)	Сложное. 2-4 пачки	0,04 – 0,65 0,18 (171)	Невыдер- жаный
52 (мощный)	40-60	68,80- 440,66	3,40 – 6,51 4,54 (107)	3,74–6,78 4,67 (107)	Относитель- но простое. 1-3 пачки	0,02 – 0,76 0,19 (74)	Относи- тельно выдер- жаный
51 (средней мощности)	30-37	131,88- 482,12	1,57 – 3,47 2,37 (260)	1,62–3,87 2,70 (260)	Сложное и очень сложное. 2-7 пачек	0,04 – 0,86 0,37 (229)	Относи- тельно выдер- жаный
50 (мощный)	27-35	149,10- 513,98	3,38 – 4,30 3,76 (67)	3,38–4,30 3,79 (57)	Относитель- но простое.	0,02 – 0,2 0,08 (23)	Выдер- жаный
49 (средней мощности)	27-35	15,0- 538,34	1,88 – 3,31 2,60 (213)	1,88–3,70 2,77 (213)	Сложное и очень сложное. 2-5 пачек	0,01 – 0,89 0,20 (180)	Относи- тельно выдер- жаный

Газоносность

Мощность зоны газового выветривания зависит от рельефа местности и изменяется в диапазоне 100-140 м. Данные об изменении метаноносности пластов представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Прогноз газоносности в границах участка «Нижние горизонты шахты «Котинская»

Угольный пласт	Прогнозные значения метаноносности, м ³ /т с.б.м.				
	+200	+100	±0	-100	-200
58	ЗГВ	7,0-7,5	-	-	-
57-56	ЗГВ	7,0-7,5	9,0	-	-
53	ЗГВ	7,5	9,0	11,0	-
52	ЗГВ-4,0	7,5	9,0-9,5	11,0	-
51	ЗГВ-4,0	7,5-8,0	9,0-9,5	11,5	12,5

Продолжение таблицы 1.2

50	ЗГВ-4,0	7,5-8,0	9,5	11,0-11,5	12,5
49	ЗГВ-4,0	7,5-8,0	9,5	11,5	12,5

Характер нарастания метаноносности угольных пластов с глубиной залегания представлен на рисунке 1.3.

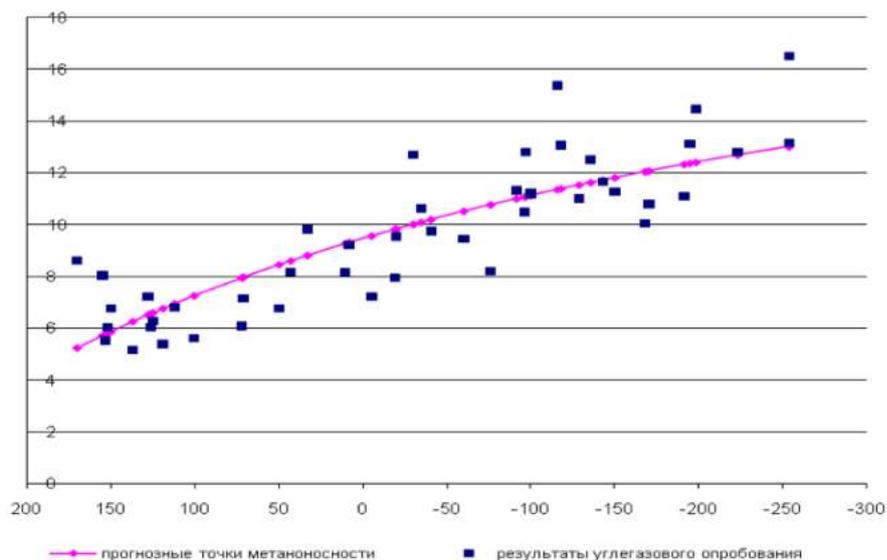


Рисунок 1.3 – Изменение метаноносности пластов с увеличением глубины ведения горных работ [65]

Склонность углей к самовозгоранию

Пласты 52 и 50 в границах шахты «им. В.Д. Ялевского» являются склонными к самовозгоранию, инкубационного период составляет 51 и 48 суток соответственно.

Горнотехнические условия отработки мощных пластов Соколовского месторождения на шахте «им.В.Д.Ялевского»

Пласт 52 вскрыт шестью наклонными стволами, расположенными попарно на трех промплощадках шахтного поля – основной, центральной и фланговой [87] (рисунок 1.4).

На шахте предусмотрена полная конвейеризация доставки горной массы от забоев до угольного склада, расположенного на основной промплощадке, по главному конвейерному стволу оборудованному ленточным конвейером. В качестве вспомогательного транспорта на шахте применяются напочвенные дороги, оборудованные в путевых стволах пласта 52 и ДКНУ, оборудованная в вентиляционном стволе пласта 51, также в нижней части стволов и участковых выработках применяется подвесная монорельсовая дорога.

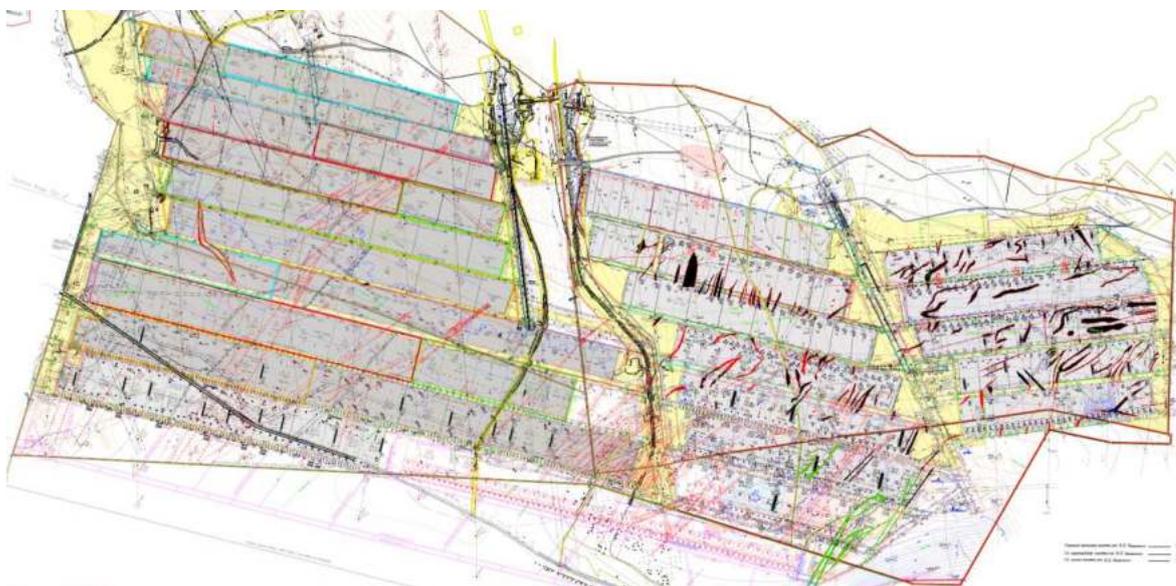


Рисунок 1.4 – Выкопировка из плана горных работ по пласту 52

Проветривание шахты осуществляется с использованием фланговой схемы проветривания, способ проветривания – нагнетательный.

Проветривание выемочных участков осуществляется с использованием комбинированной схемы с изолированным отводом метановоздушной смеси по ограниченной части выработанного пространства и дегазацией выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности [93].

Очистные забои по пластам 52 и 50 оборудованы современным высокопроизводительным очистным оборудованием.

Оборудование очистного забоя по пласту 52:

- механизированная крепь DBT 220/480 2x3297 кН;
- штрековый конвейер DBT PF 4/1132;
- лавный конвейер DBT PF 4/1132;
- комбайн Eickhoff SL – 500;
- дробилка ударная валковая SK 11/11.

Оборудование очистного забоя по пласту 50:

- Механизированная крепь DBT2400/5000- 2×4300-1750;
- Очистной комбайн Eickhoff SL-900;
- Забойный конвейер SH PF 6/1142;
- Штрековый скребковый конвейер ST PF 6/1342;
- Дробилка SK 1114.

Согласно шахтным данным нагрузка на очистные забои при отработке пласта 52 в зависимости от горно-геологических условий может изменяться от 16490 до 25224 т горной массы в сутки. Месячная нагрузка на очистной забой может достигать 700 тыс.т. При данных нагрузках на очистной забой годовая добыча с пласта 52 обеспечивается на уровне 5 млн.т угля в год с учётом попутной добычи из подготовительных забоев.

На рисунке 1.5 представлены данные о динамике месячных нагрузок на очистные забои при отработке пласта 52 на шахтах «Котинская» и «№7» в период с 2009 по 2016 гг.

Как видно из рисунка 1.6 работа очистных забоев характеризуется значительным разбросом интенсивности отработки запасов, что обусловлено как влиянием осложняющих горно-геологических факторов: значительные водопритоки и высокая газообильность выемочных участков, влияние геологических нарушений, так и наличие простоев оборудования, связанных с длительными периодами монтажно-демонтажных работ, отказами в работе оборудования очистного забоя и общешахтного транспорта.

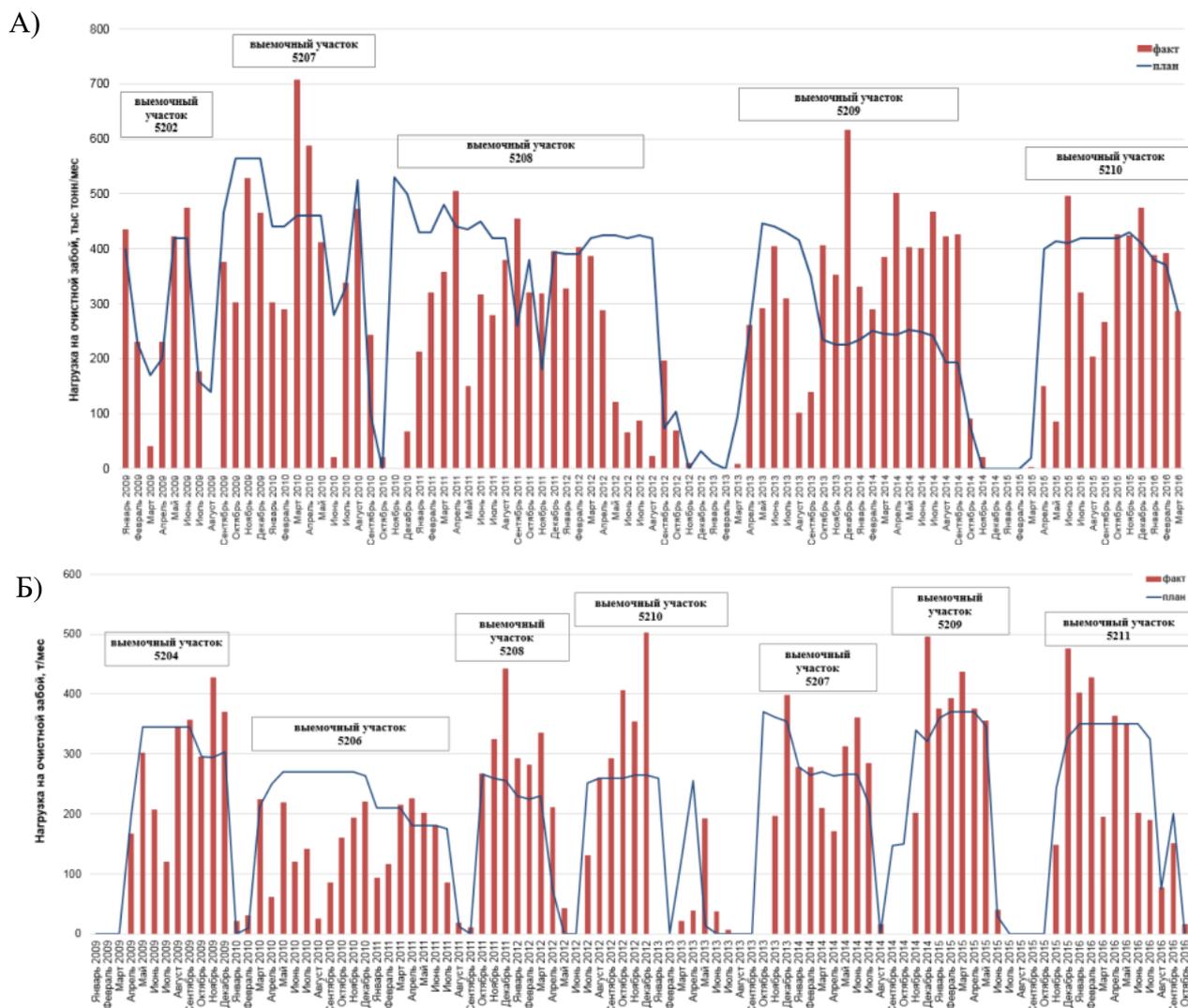


Рисунок 1.5 – Динамика месячных нагрузок на очистной забой при отработке пласта 52:

А) шахта «Котинская»; Б) шахта «№7»

Отработка пласта 50 характеризуется рекордными нагрузками на очистной забой, достигаемыми за счет использования комбайна с более высокой установленной мощностью, применение которого обеспечивает в благоприятных горно-геологических условиях достижения нагрузок на очистной забой до 60 тыс тонн в сутки и до 1,6 млн тонн в месяц (рисунок 1.6), а также более производительных конвейеров. Кроме того, росту нагрузок на очистной забой способствовало увеличение длины лавы с 300 до 400 м, сопровождаемое повышением коэффициента машинного времени очистного комбайна.

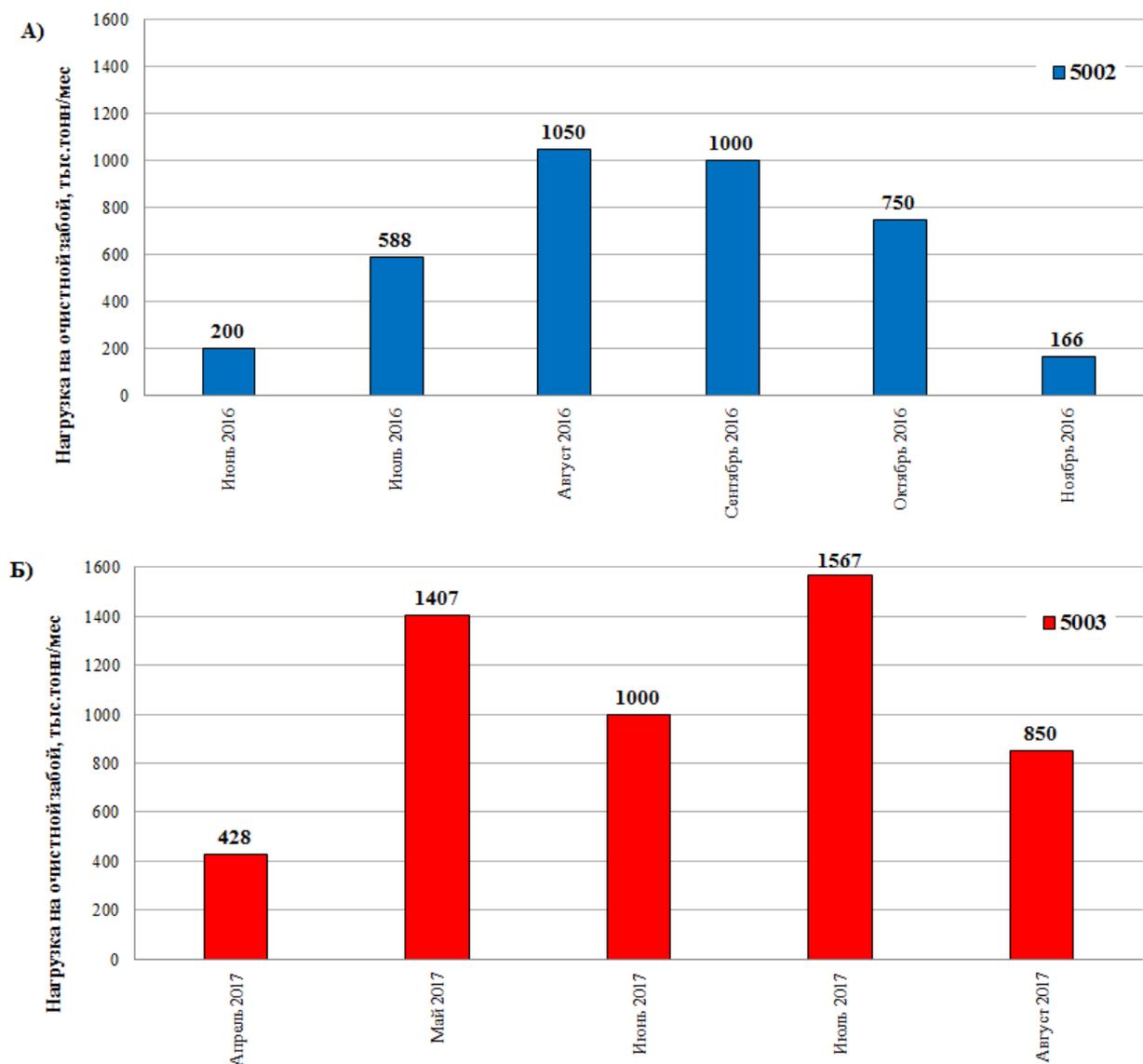


Рисунок 1.6 – Динамика нагрузки на очистные забои при отработке пласта 50: А) 50-02 (300 м); В) 50-03 (400 м)

Таким образом, при отработке пласта 50 на шахте «им.В.Д.Ялевского» достигнут рекордный для России уровень нагрузок на длинный очистной забой и интенсивности отработки запасов газоносных угольных пластов.

1.2 Анализ мирового опыта интенсивной отработки свит газоносных угольных пластов

Наивысшие показатели интенсивности отработки пологих угольных пластов, как показывает мировая практика достигаются при работе длинных очистных забоев. При этом основной системой разработки следует считать

систему разработки длинными столбами по простиранию (столбовую) с оставлением межлавных целиков, поскольку бесцеликовая система разработки не позволяет обеспечить высоких нагрузок на очистные забои и является потенциально опасной как по газовому фактору, так и по фактору эндогенная пожароопасность [79].

Следует также отметить тот факт, что внедрение современной высокопроизводительной техники и повышение интенсивности отработки запасов предопределило существенное изменение параметров выемочных участков: длины лавы и длины выемочных столбов – до 300-500 м и 3000-7000 м соответственно. Кроме того, рост нагрузок на очистные забои и скоростей подвигания лав предопределил повышение интенсификация геомеханических и газодинамических процессов [87, 104, 105].

Характерной особенностью интенсивной отработки газоносных угольных пластов является высокая газообильность выемочных участков, предопределяющая необходимость поиска и внедрения эффективных решений по управлению газовыделением.

Одним из перспективных направлений обеспечения безопасности подземной разработки газоносных пластов является их заблаговременная дегазация [19, 32, 40, 51, 85, 101], однако низкая проницаемость массива вне зон влияния горных работ не позволяет обеспечить ее эффективность и обуславливает ее применение только в виде отдельных пилотных проектов или в специфических условиях.

Недостаточный уровень решения проблемы управления газовыделением в условиях ухудшения горно-геологических условий и роста нагрузок на очистные забои является одной из причин повышенной аварийности ведения горных работ при интенсивной отработке газоносных угольных пластов [13-18, 67-67, 73-77, 82-84, 86, 93, 94, 106, 102].

Характерной особенностью отработки свит газоносных угольных пластов является преобладание газовыделения из выработанного

пространства, формируемого газовойделением из подрабатываемой и надрабатываемой частей углепородного массива, над газовойделением из разрабатываемого пласта [4, 5, 23-25, 92]. Учитывая, что возможности вентиляции определяются возможностью разбавления метановоздушных смесей до взрывобезопасных концентраций и ограничиваются предельно допустимыми скоростями движения воздуха в призабойном пространстве и фактическим сечением лавы, свободным для прохода воздуха, определяемым конструктивными особенностями применяемой механизированной крепи и вынимаемой мощностью пласта, то основным направлением обеспечения интенсивной отработки запасов в условиях повышенной газообильности выемочных участков следует считать повышение эффективности газовойделения за счет применения различных схем дегазации выработанного пространства и изолированного отвода метановоздушной смеси.

Различные горно-геологические и горнотехнические условия угольных бассейнов мира привели к развитию различных способов дегазации. Традиционно методы дегазации в России разделяются на заблаговременную (до начала горных работ), предварительную (до начала очистных работ) и текущей (после начала горных работ в зонах разгрузки). В зарубежной практике выделяют два вида дегазации: предварительная (*pre-mine drainage*) – до очистных работ и последующая (*post-mine drainage*) – после очистных работ.

Следует отметить, что в мировой практике приняты следующие представления газообильности при различной интенсивности отработки свит газоносных угольных пластов в шахте (таблица 1.3). Как видно из таблицы 1.3 интенсивность отработки запасов с учетом условий (природной газоносности пластов) определяют газообильность выемочного участка и тип его газообильности.

Таблица 1.3 – Классификация выемочных участков по газообильности

Годовая производственная мощность лавы, млн т/год	Газообильность, м ³ /мин						
	Природная газоносность пластов, м ³ /т						
	1	5	10	15	20	25	30
3	6	36	78	114	150	186	228
5	12	60	126	186	252	312	378
7	18	90	174	264	354	438	528
9	24	114	228	342	450	564	678
	<i>обычные</i>			<i>газообильные</i>		<i>высокогазообильные</i>	

Следует отметить, что в соответствии с рассматриваемой классификацией выемочные участки отрабатывающие запасы мощных газоносных угольных пластов 50 и 52 на шахте «им.В.Д.Ялевского» относятся к обычным: интенсивность отработки пласта 52 составляет 5 млн т/год, а средняя газообильность достигает 120 м³/мин; интенсивность отработки пласта 50 при исключении длительных простоев, которые в настоящее время достигают 6 месяцев и более, может составить 9 млн т/год при газообильности 150 м³/мин.

Анализ зарубежного опыта интенсивной отработки свит газоносных угольных пластов показывает, что выбор схемы дегазации и ее параметров определяется объемами газовыделения на выемочном участке.

В качестве характерных примеров рассмотрим отдельные случаи из опыта интенсивной отработки свит газоносных угольных пластов в Австралии.

К условиям средней газообильности относятся шахты с выемочными участкам, отрабатывающие свиты угольных пластов с природной газоносностью до 8 м³/т [113]. В качестве примера отработки таких пластов рассмотрим отработку пласта Woodlands Hill мощностью 3,1 м, на глубине 15-275 м, природная газоносность от 3 до 8 м³/т (постепенно снижаясь в пределах отрабатываемых по восстанию выемочных столбах) [113]. Выше и

ниже пласта залегают другие пласты, суммарной мощностью до 20 м (рисунок 1.7), создавая значительные потенциальные объемы газовыделения при подработке (надработке) до $60 \text{ м}^3/\text{м}^2$. Предварительная дегазация на шахте не проводится.

Газообильность выемочных участков в рассматриваемых условиях достигает $180 \text{ м}^3/\text{мин}$ при средних нагрузках на очистной забой порядка 15 тыс тонн/сут.

Анализ взаимосвязи интенсивности отработки запасов и газообильности (представленной на рисунке 1.8) позволяет сделать вывод о значительном вкладе в общую газообильность выемочного участка выработанного пространства, а также о несущественном влиянии простоев на газообильность лавы и газообильность выработанного пространства в условиях развития горных работ (в условиях установившегося режима обрушения кровли и полного развития зон полных обрушений и интенсивной трещиноватости).

В рассматриваемых условиях средней газоносности разрабатываемых пластов анализ опыта интенсивной отработки запасов показывает возможность применения лишь одного вида дегазации – дегазации выработанного пространства для успешного управления газовыделением на выемочном участке. Однако, значительные объемы выделяемого метана требуют применения соответствующих параметров дегазации.

В условиях интенсивной отработки свит газоносных пластов при высокой природной газоносности разрабатываемых пластов ($15\text{-}30 \text{ м}^3/\text{т}$), как правило, применяется комплексная дегазация, включающая как предварительную, так и текущую дегазацию различных источников.

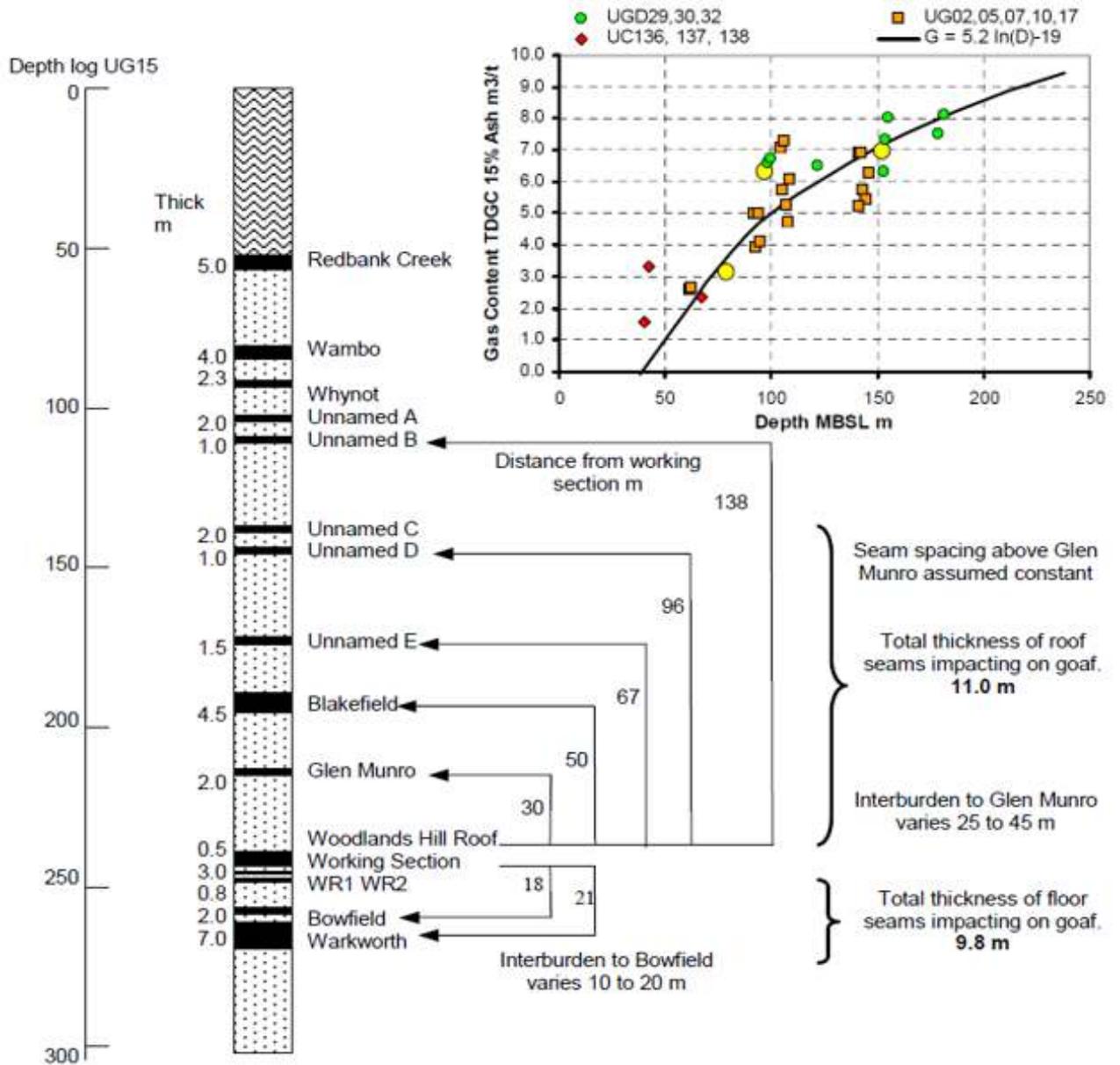


Рисунок 1.7 – Стратиграфическая колонка по пласту Woodlands Hill и график зависимости газообильности от глубины [112]

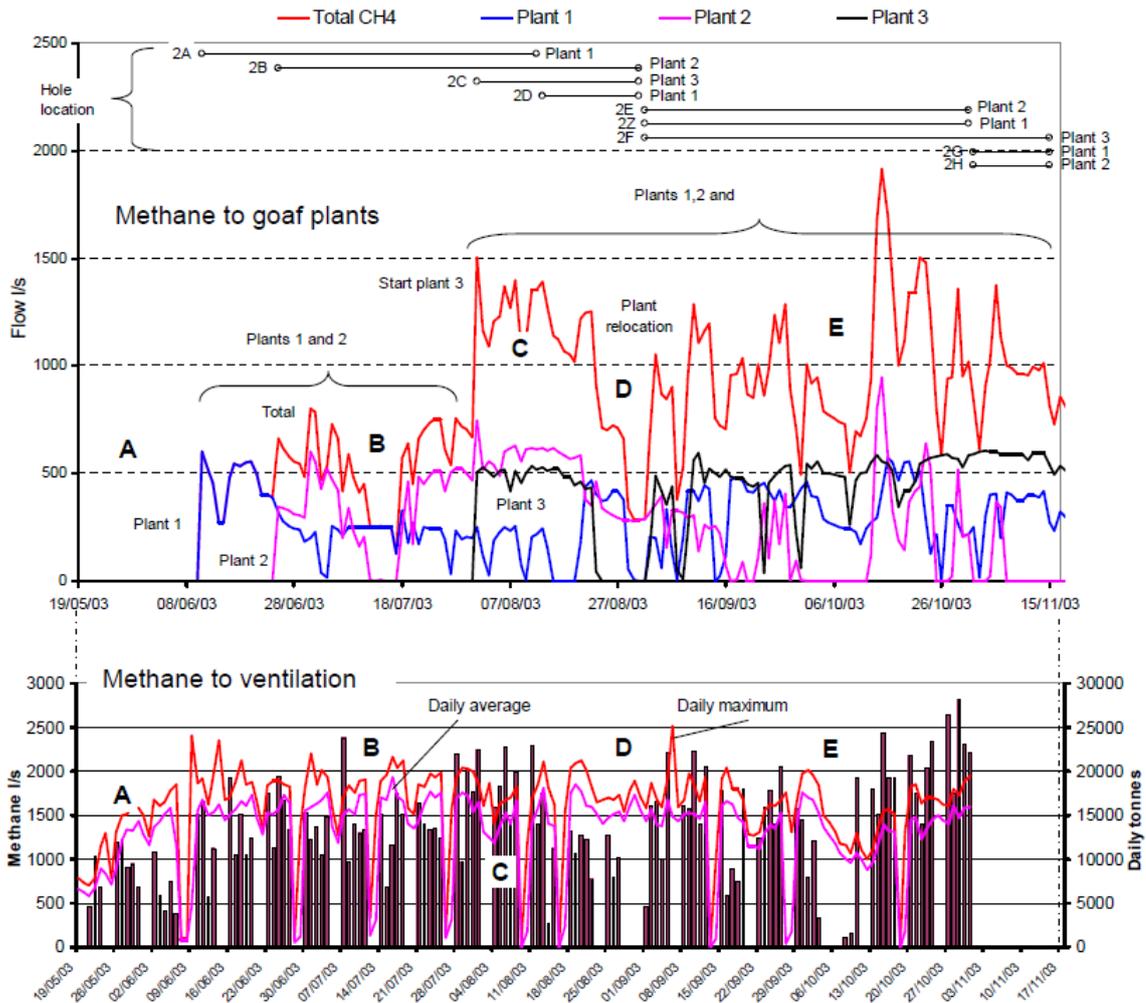


Рисунок 1.8 – Взаимосвязь интенсивности отработки и газообильности выемочного участка (выработанного пространства и лавы) [112]

На рисунке 1.9 представлена схема управления газовыделением при отработке пласта мощностью 2,8 м лавами длиной 300 м (длина столба 3,6 км) с интенсивностью порядка 450-500 тыс тонн в месяц, включающая как заблаговременную дегазацию наклонно-горизонтальными скважинами, пробуренными с земной поверхности, предварительную дегазацию разрабатываемого пласта, так и текущую дегазацию выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности.

Высокая газообильность выемочных участков в данных условиях предопределяет необходимость подготовки с использованием строенных

выработок, для обеспечения эффективного управления газовыделением. С началом ведения горных работ было установлено, что газовыделение из сближенных пластов может достигать $30 \text{ м}^3/\text{т}$ суточной добычи.

По мере отработки запасов выемочных столбов объемы метана, удаляемые средствами вентиляции и дегазации выработанного пространства возрастали, достигая при отработке 1-го выемочного столба $120 \text{ м}^3/\text{мин}$, 2-го – $270 \text{ м}^3/\text{мин}$, и $360 \text{ м}^3/\text{мин}$ при отработке 3-го и 4-го выемочных столбов.

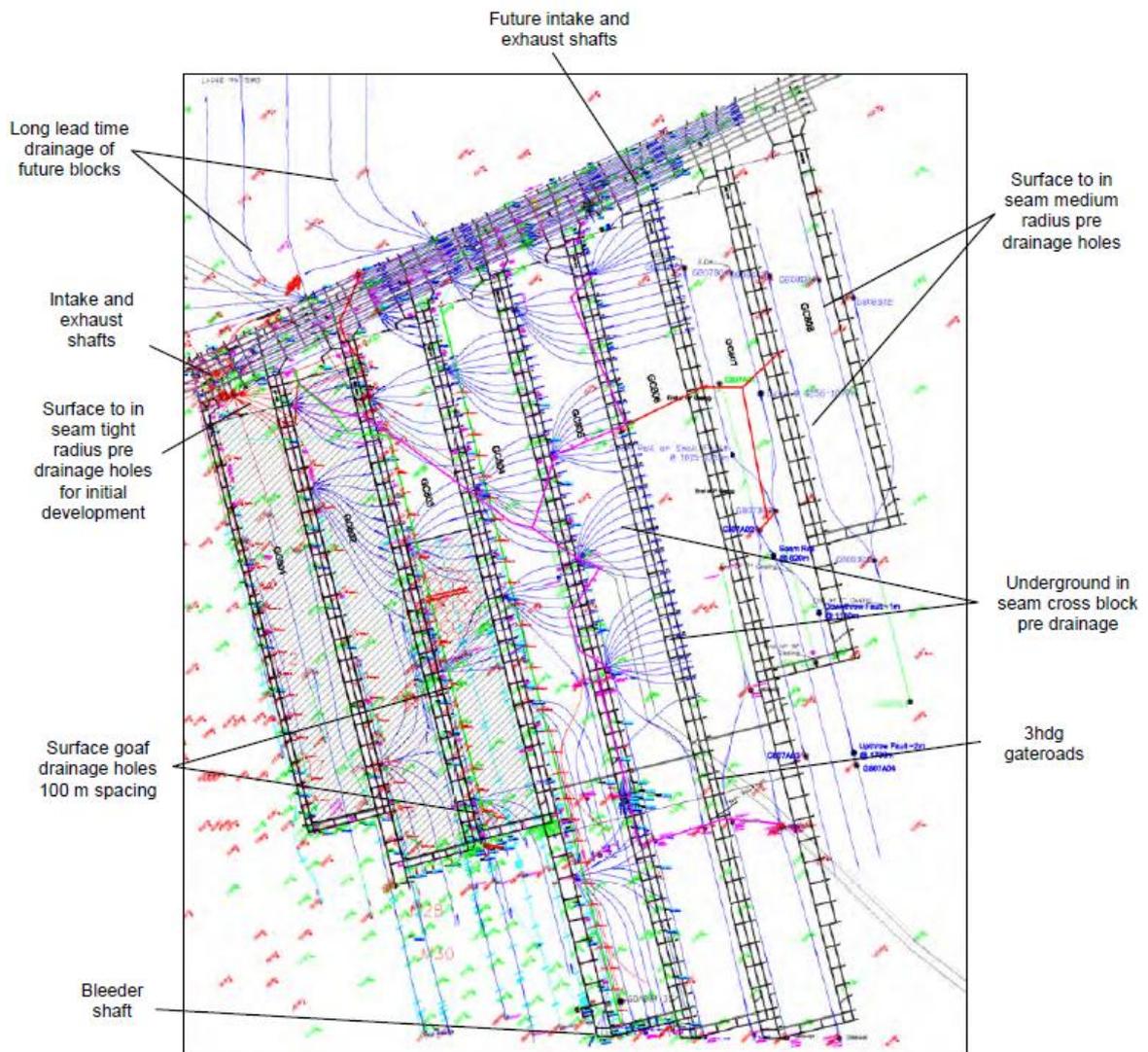


Рисунок 1.9 – Схема комплексного управления газовыделением [118]

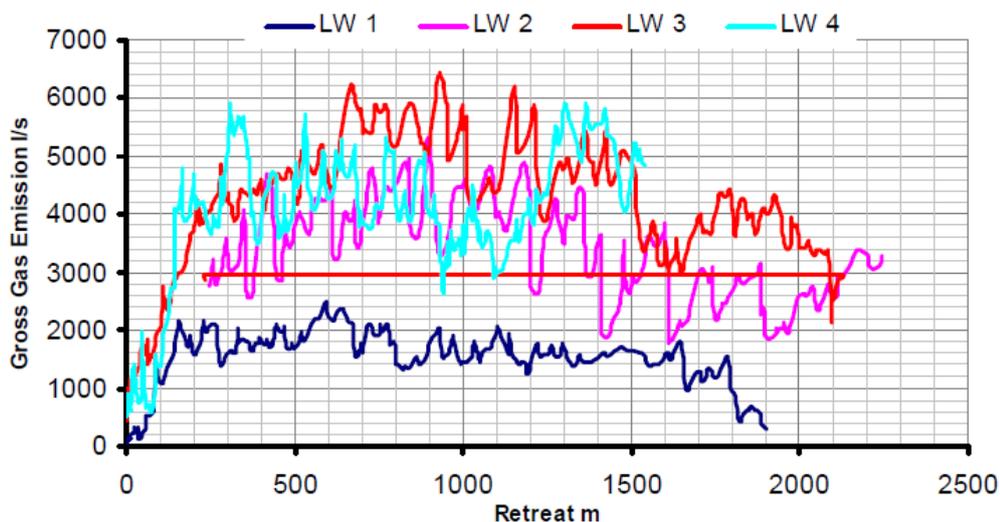


Рисунок 1.10 – Динамика газообильности выемочного участка по мере подвигания лавы

[112]

Таким образом удельная газообильность выемочного участка составила $32 \text{ м}^3/\text{т}$. Характерной особенностью газовыделения являлось наличие резких повышений газообильности превышающих среднесуточные значения в 1,5-2 раза (рисунок 1.10), что предъявляет высокие требования к надежности и устойчивости газоправления в условиях высокой неравноменности газовыделения.

В условиях высокой газообильности выработанных пространств хорошо себя зарекомендовала схема дегазации с использованием вертикальных дегазационных скважин диаметром 250 мм, пробуренных с земной поверхности, располагаемых в один ряд вдоль вентиляционной выработки на расстоянии 100 м. Концентрация метана в данных скважинах составляла в среднем 80%, достигая в отдельные моменты более 90%.

Анализ опыта применения дегазации в США показал, что предварительная дегазация вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности, в 2008 году применялась лишь на 6 шахтах, текущая дегазация выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности – на 23 шахтах, предварительная

дегазация разрабатываемого пласта – на 9 шахтах; дегазация наклонными скважинами, пробуренными из горных выработок – не применялась.

Практический интерес представляет способ дегазации выработанного пространства с использованием газодренажной выработки (рисунок 1.11), располагаемой в подрабатываемой толще. Газодренажная выработка располагается на расстоянии 20-60 м от разрабатываемого пласта (в зоне интенсивной трещиноватости), в 10-30 м от вентиляционной выработки. Данный способ успешно применялся на ряде шахт Китая.

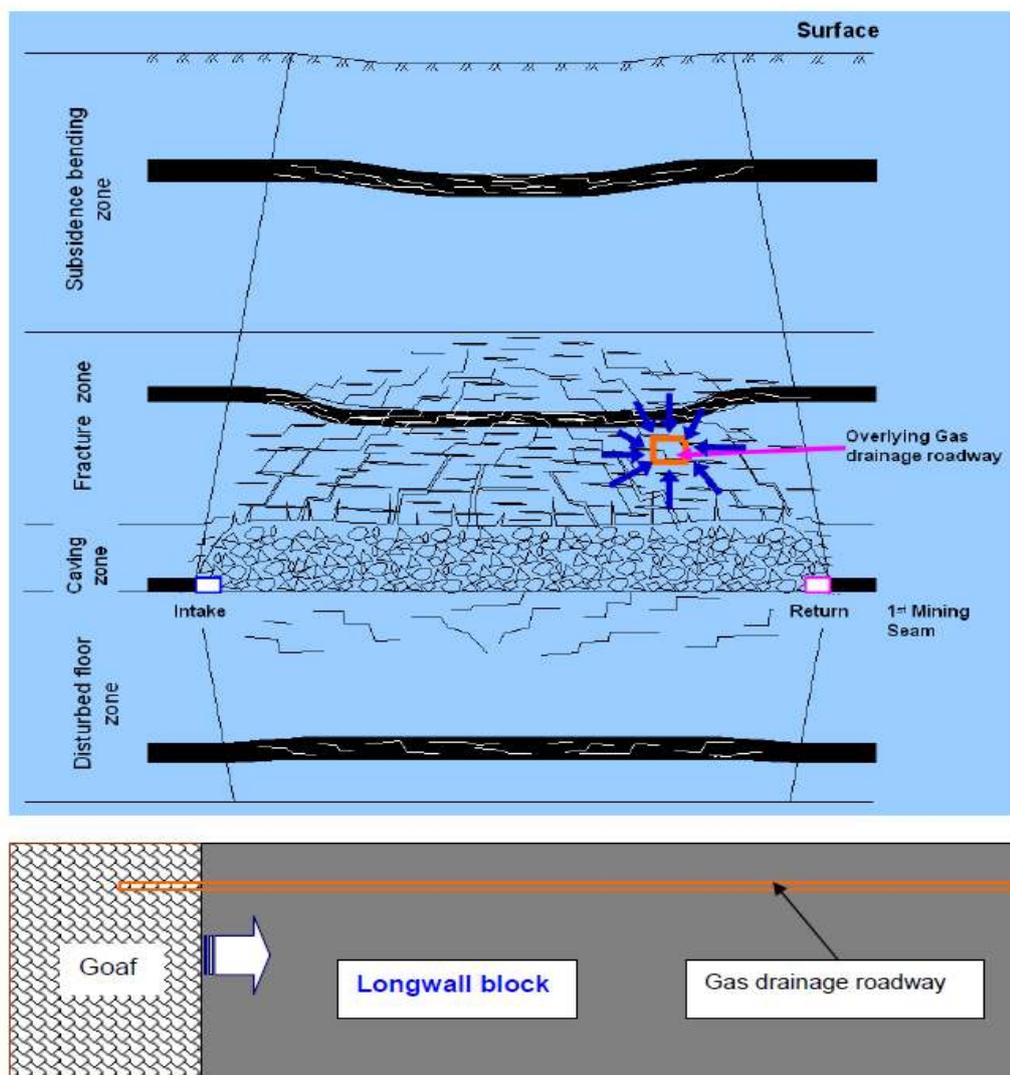


Рисунок 1.11 – Дегазация выработанного пространства с использованием газодренажной выработки (Китай) [113]

Анализ зарубежного опыта показал, что газообильность каждого последующего обрабатываемого выемочного участка в шахтном поле возрастает. На рисунке 1.12 представлены данные о характерной динамике газообильности выемочных участков при средней нагрузке на длинный очистной забой (300 м) 5 млн т/год при газообильности выработанного пространства 50%. По мере отработки выемочных участков газоносность пласта повышалась с 4 до 6,25 м³/т, а газообильность составляла от 90 до 160 м³/мин.

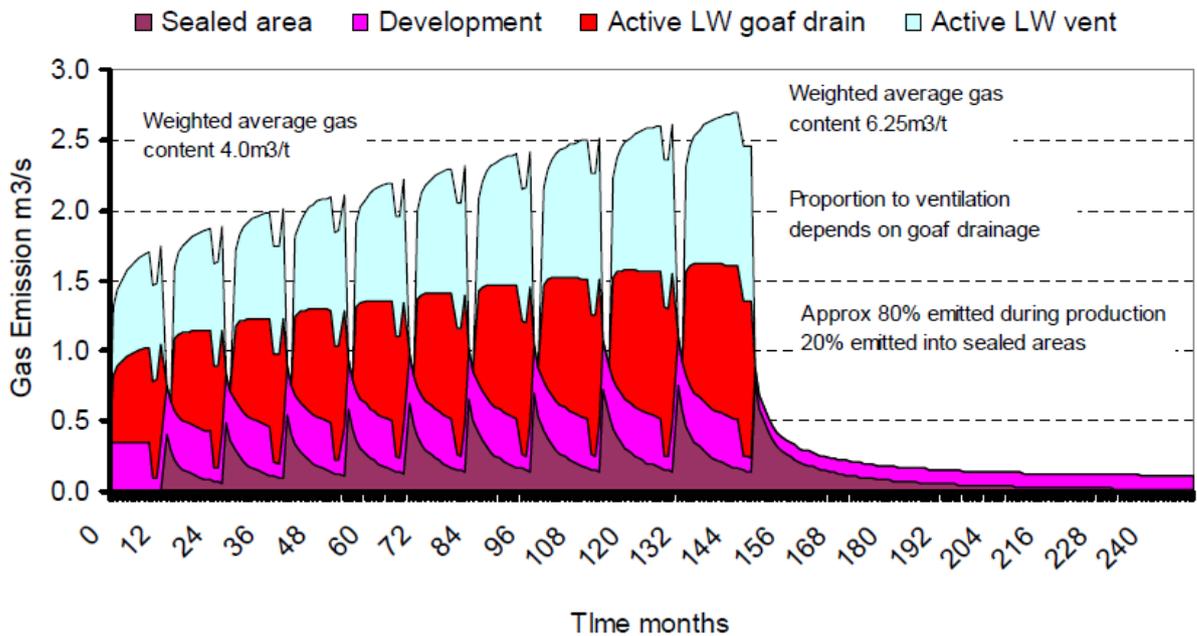


Рисунок 1.12 – Динамика газообильности выемочных участков в течение жизненного цикла шахты

На рисунке 1.13 представлены основные способы дегазации выработанного пространства, применяемые в мировой практике, а в таблице 1.4 представлен их краткий сравнительный анализ.

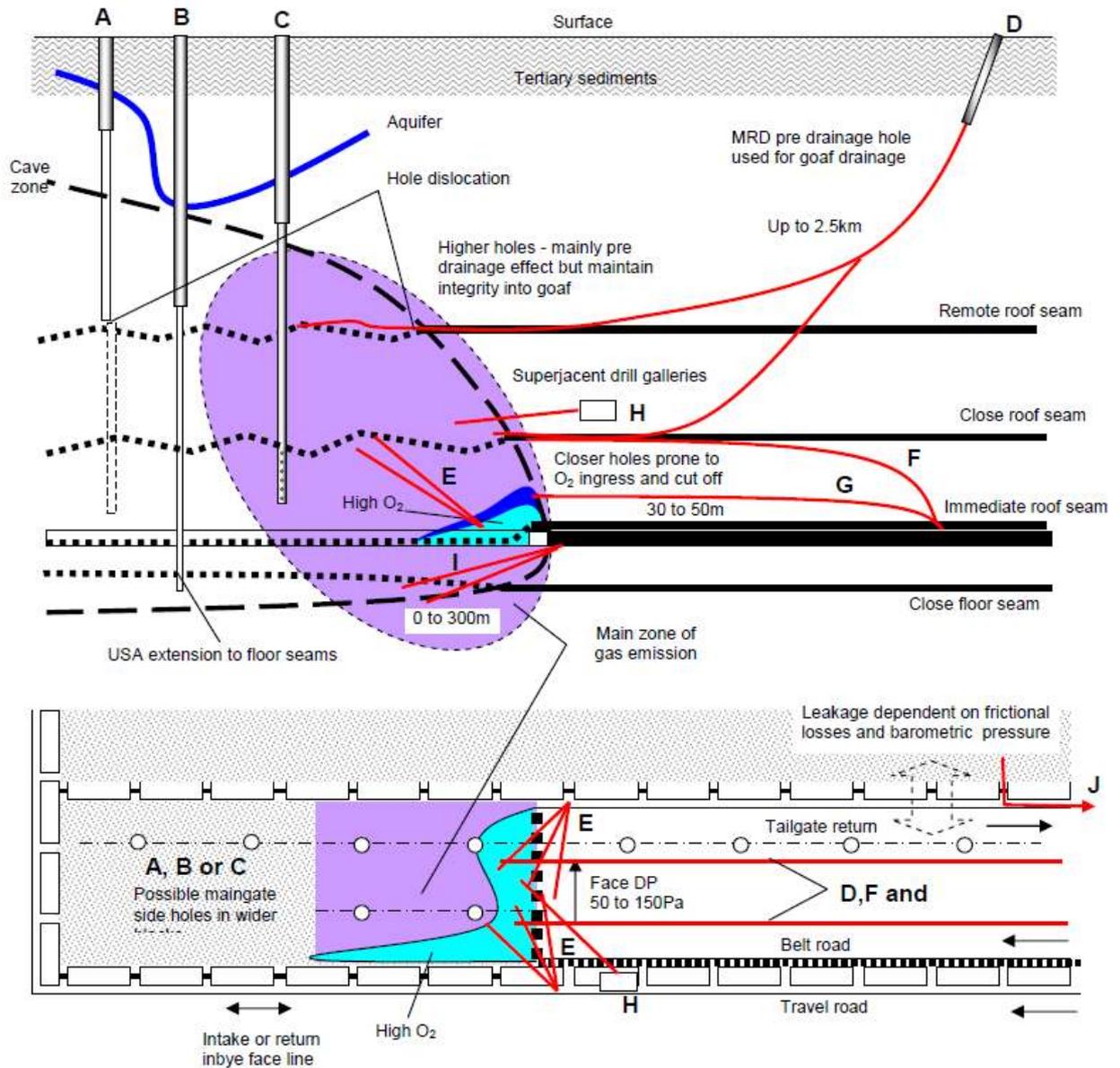


Рисунок 1.13 – Способы дегазации выработанного пространства [112]

А - Вертикальными скважинами с поверхности в зону метановых газов; В - Вертикальными скважинами с поверхности в зону влияния надработки (разгрузки); С - Вертикальными скважинами с поверхности в зону интенсивной трещиноватости; D - Направленным бурением с поверхности на надрабатываемые пласты (в направлении, параллельном подвиганию лавы); E-Наклонными скважинами из подземных горных выработок в кровлю пласта; F - Направленными скважинами из подземных горных выработок на пласты спутники (в направлении, параллельном подвиганию пласта); G - Направленными скважинами в выработанное пространство (в направлении, параллельном подвиганию пласта); H - Скважинами из дренажной выработки, пройденной в кровле пласта; I - Наклонными скважинами, пробуренными из участков выработок в почву пласта (дегазация надрабатываемой толщи); J - Дегазационными трубопроводами, заведенными за перемычку в выработанное пространство

Таблица 1.4 – Сравнительный анализ различных способов дегазации (по данным [106])

Способ	Описание	Достоинства	Недостатки
Заблаговременная дегазация с использованием вертикальных скважин, пробуренных с земной поверхности	Включает, как правило, гидроразрыв одного или свиты пластов с использованием скважины с поверхности. На пластах с высокой проницаемостью возможно использование скважин без гидроразрыва пласта.	<ul style="list-style-type: none"> • Газ удален до начала горных работ. • Получен газа высокой чистоты(высокая концентрация метана в извлекаемой газо-воздушной смеси) концентрации и стоимости. • Снижение выбрасоопасности пластов. • При использовании гидроразрыва снимается проблема управления труднообрушаемой кровлей. • Имеется возможность использования скважины для дегазации выработанного пространства. • Сокращение выбросов парниковых газов. 	<ul style="list-style-type: none"> • Дорогостоящий. • Для утилизации газа необходимы поверхностные трубопроводы. • Проблемы ведения поверхностных работ с точки зрения собственности на землю, рельефа местности и наличия различных природных объектов. • Низкая газовая проницаемость пластов на больших глубинах. • Затраты существенно увеличиваются с глубиной. • Пласты должны обладать склонностью к гидроразрыву • Сложность увязки с планом подземных горных выработок.
Заблаговременная дегазация с использованием пластовых скважин	Длинные скважины бурятся из подземных подготовительных или вскрывающих выработок, в области будущих горных работ и в течение длительного периода времени осуществляется дегазация пласта для снижения газопритока в подготовительные и очистные выработки.	<ul style="list-style-type: none"> • Газ удален до начала горных работ. • Получен газ высокой чистоты и стоимости. • Дегазация не влияет на очистные работы. • Менее дорогостоящий способ, чем бурение вертикальных скважин от поверхности. • Может использоваться в глубоких шахтах с низкой газовой проницаемостью пласта. • Сниж брасоопасность горных работ. • Обеспечивает высокие темпы проведения выработок по высокогазоносным пластам. 	<ul style="list-style-type: none"> • Бурение необходимо до начала добычи угля. • Эффективная дегазация обеспечивается только при отработке пластов со средней или высокой газовой проницаемостью. • Уменьшает газовыделение только разрабатываемого пласта и не влияет на сближенные пласты. • Гидроразрыв, устойчивость скважины и направленное бурение в ряде случаев трудноосуществимы. • Требуется специально обученный персонал для бурения направленных подземных скважин.

Продолжение таблицы 1.4

<p>Заблаговременная дегазация с использованием направленного бурения пластовых скважин с поверхности</p>	<p>От вертикальной или наклонной скважины осуществляется направленное бурение в один или несколько пластов на 1000 м или более. Используются различные схемы с учетом уровня напряжений в слоях для обеспечения оптимальных затрат.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Газ удаляется до начала горных работ. • Добывается газ высокой чистоты для утилизации. • Дегазация не влияет на горные работы. • Более эффективное извлечение газа, чем вертикальными скважинами. • Возможность использования скважин по сближенным пластам для последующего проведения текущей дегазации. • Возможности бурения более гибкие и не ограничены особенностями рельефа. 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость. • Применима не на всех угольных пластах. • Требуется осушения для обеспечения эффективности. • Требуется средней и высокой газовой проницаемости пластов. • Ошибки при бурении тяжело устранимы. • Требуется привлечение специалистов.
<p>Предварительная предупреждающая дегазация с использованием коротких опережающих скважин в кровлю</p>	<p>Короткие вертикальные скважины бурят в кровлю в выработках, чтобы управлять газовыделением из слоев песчаника в локальных областях. Буровые скважины под небольшим углом иногда бурятся перед очистным забоем.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Недорогой локальный метод снижения метановыделения в выработки. 	<ul style="list-style-type: none"> • Низкие потоки газа. • Необходимо использование дегазационной системы.

Продолжение таблицы 1.4

<p>Текущая дегазация наклонными скважинами (в зонах разгрузки)</p>	<p>Скважины бурят под углом в кровлю или почву под выработанное пространство из вентиляционных выработок лавы. При использовании столбовых систем разработки скважины, пробуренные с отставанием от лавы, обеспечивают лучшую эффективность, чем скважины, пробуренные перед очистным забоем. Однако, отмечается сложность поддержания участка выработки за очистным забоем.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Обеспечивается извлечение значительных объемов метана. • Эффективны при отработке газоносных пластов на больших глубинах • Малые затраты на бурение до основного источника дегазации. • Обеспечивается извлечение и перекачка газа на поверхность для продажи или использования на месте разработки. • Эффективен при низкой газовой проницаемости пластов. • Обеспечивает безопасность работ при отработке высокогазоносных пластов. • Легко изменяемая гибкая схема бурения. • Наименее дорогостоящий из способов дегазации. 	<ul style="list-style-type: none"> • Трудно обеспечивать высокую эффективность способа при столбовых системах разработки. • Для максимальной эффективности бурение необходимо производить за очистным забоем. • Короткий жизненный цикл скважин. • Чистота газа от средней до низкой, вследствие подсосов воздуха из призабойного пространства. • Требуется специалисты для бурения. • Необходимо использование системы трубопроводов для выдачи газа на поверхность.
--	--	---	---

Продолжение таблицы 1.4

<p>Текущая дегазация скважинами с поверхности (в зонах разгрузки и выработанном пространстве)</p>	<p>Скважины бурят в кровлю разрабатываемого пласта. Производится обсадка рабочей части скважины. Иногда скважину бурят на 30 м выше пласта и затем бурят скважину меньшего диаметра с опережением или после прохода очистного забоя. Безопасный и надежный способ оборудования буровой скважины включает бурение на разрабатываемый пласт, тампонирование основания на 30 м. Буровые скважины обычно располагаются ближе к вентиляционной выработке.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Дегазация проводится независимо от горных работ. • Значительные объемы извлекаемого газа. • Недорогой способ дегазации пластов на малых и средних глубинах. • Значительные объемы достаточно чистого газа. • Может соответствовать изменениям в плане горных работ. 	<ul style="list-style-type: none"> • Дорогостоящий способ при отработке пластов на больших глубинах. • Высока опасность значительных водопритоков при наличии и пресечении водоносных горизонтов. • Отсутствие дегазации надработанной углепородной толщи (почвы пласта). • Буровые скважины в выработанном пространстве начинают эффективную работу лишь после прохождения и отхода очистного забоя на некоторое расстояние для исключения утечек воздуха на поверхность. • Сбор газа для эксплуатации требует дорогостоящей поверхностной инфраструктуры. • Применим только при возможности размещения на поверхности дегазационных станций. • Может выявить и уловить больше газа, чем выделилось бы в подземные горные выработки.
<p>Текущая дегазация направленными длинными горизонтальными скважинами, проводимыми над или под разрабатываемым пластом</p>	<p>Несколько направленных скважин бурится на расстоянии 20-30 м выше, или ниже обрабатываемого пласта.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Может быть применимым для предварительной дегазации до начала горных работ. • Потенциально более высокая эффективность удаления метана чем наклонными скважинами из выработок разрабатываемого пласта. • Дегазация производится независимо от горных работ. 	<ul style="list-style-type: none"> • Направленное бурение относительно дорогостоящее. • Проблематично применение в неустойчивых и мягких породах и углях. • Ремонт разрушенных или поврежденных буровых скважин затруднен. • Негибкий к изменениям в добыче. • Необходима высокая точность и скорость бурения для обеспечения эффективной дегазации до начала горных работ.

Продолжение таблицы 1.4

<p>Текущая дегазация из подрабатываемых или надрабатываемых газодренажных выработок</p>	<p>Выработки проводят выше (или ниже) разрабатываемого пласта, связывая с системой дегазации. Для повышения эффективности до изоляции дренажной выработки бурят дополнительные скважины.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Может быть дополнен наклонными скважинами, пробуренными из газодренажной выработки. • Более продуктивное метаноизвлечение чем наклонными скважинами, пробуренными из разрабатываемого пласта. • Дегазация не влияет на горные работы. • Для уменьшения затрат на проведение выработок могут быть использованы старые выработки. • Обеспечивает получения газа достаточной чистоты. 	<ul style="list-style-type: none"> • Дорогостоящий при необходимости проведения выработки, особенно полевой или по тонким пластам. • Повышенная пожароопасность на пластах, склонных к самовозгоранию. • Трудно подстраиваемый под изменения горных работ. • Может быть неэффективным при наличии между выработкой и пластом мощных прочных слоев.
<p>Текущая дегазация пласта направленными скважинами с поверхности</p>	<p>Относительно новое применение скважин направленного бурения над или под отрабатываемым пластом.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Не требуется доступ к подземным горным выработкам. • Потенциально достижим с повторным использованием скважин, ранее примененных для предварительной дегазации. • Высокая стоимость. 	<ul style="list-style-type: none"> • Повторное использование скважин может быть затруднено вследствие повреждения при ведении очистных работ. • Не отменяет для достижения существенного эффекта использования наклонных скважин.
<p>Текущая дегазация с использованием камер и труб в выработанном пространстве лав (Изолированный отвод метановоздушной смеси)</p>	<p>Камера формируется в выработанном пространстве за очистным забоем и связывается через перемышку дегазационной системой.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Уменьшает концентрации метана при сплошной системе разработки. • Уменьшается объем метановыделения в очистной забой. 	<ul style="list-style-type: none"> • Имеет тенденцию к формированию легко воспламеняющихся газовых смесей. • Низкая концентрация газа в дегазационной системе. • Низкая эффективность дегазации.

Продолжение таблицы 1.4

<p>Текущая дегазация из сбоек в выработанное пространство лав (вариант предыдущего способа) (Изолированный отвод метано-воздушной смеси)</p>	<p>Сбойки проводят от параллельной выработки. Дренажная система связана с выработанным пространством через перемычку.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Может уменьшить потребность в бурении дегазационных скважинах при некоторых обстоятельствах. • Дегазация не связана с ведением горных работ. • Уменьшает концентрации метана на концевых участках лавы. 	<ul style="list-style-type: none"> • Может формировать легковоспламеняющиеся смеси. • Требуется высокой производительности дегазации из-за низкой концентрации метана. • Низкая эффективность дегазации. • Возможно только из сбоек с параллельными выработками. • Дополнительные затраты на проведение сбоек.
--	---	---	---

Оценка экономической эффективности дегазационных схем, применяемых в мировой практике

Уровень затрат на дегазационные работы зависит от ряда факторов (стоимость применяемого оборудования, эксплуатационные затраты, трудозатраты, доступ к земельному отводу - аренда или приобретение земли), и варьируются существенно как различных странах, так и в пределах одной страны. Эта разница в стоимости обусловлена в первую очередь горно-геологическими и горнотехническими условиями и поэтому обобщение неизбежно приводит к указанию затрат в широких диапазонах.

Таблица 1.5 представляет обобщенную стоимостную оценку способов дегазации в расчете на тонну извлеченного угля (цены 2009 года). Условия, для которых произведены расчеты: пласт мощностью 3 м, разрабатываемый лавой длиной 250 м при длине выемочного столба 2000 м, залегающий на глубине 600 м, нагрузки на очистной забой до 2 млн. тонн (по данным из Китая и Австралии) [106].

Таблица 1.5 – Удельная стоимость дегазации (в долларах США, 2009 год)

Способ дегазации	Базовая технология	Основные элементы затрат	Основные переменные затрат	Удельные затраты US \$/тонну
Подземная предварительная дегазация	Направленные длинные скважины по пласту с опережением по длине столба	Бурение и оборудование	Диаметр и длина скважин	от 0,4 до 3,2
	Скважины через участок	Бурение и оборудование	Диаметр и длина скважин	от 0,6 до 4
Поверхностная заблаговременная дегазация	Вертикальные скважины с гидроразрывом пласта	Бурение, обсадные трубы, гидроразрыв, изоляция	Глубина бурения и число пластов	от 1,2 до 9,6
	Вертикальные скважины с множественными ответвлениями	Бурение, обсадные трубы, направленное нисходящее бурение, гидроразрыв, изоляция	Глубина бурения и общая длина ответвленной скважины по пласту. Затраты резко возрастают при проблемах с бурением	от 1,0 до 8,0

Продолжение таблицы 1.5

Подземная текущая дегазация	Наклонные скважины из существующих выработок	Бурение и оборудование	Диаметр и длина скважин	от 0,1 до 1,6
	Газодренажные выработки	Проведение дополнительной выработки	Расстояние до разрабатываемого пласта и размеры выработки	от 0,3 до 11,2
	Горизонтальные скважины на пласты спутники	Бурение и оборудование для направленного бурения	Проблемы бурения с радиусов поворота	от 0,5 до 4
Поверхностная дегазация с поверхности	Скважины в выработанное пространство	Бурение, обсадка, тампонирувание.	Глубина	от 1,4 до 15,2

Следует отметить, что по мере увеличения глубины ведения горных работ большую экономическую эффективность приобретают способы подземной дегазации. При отработке свит высокогазоносных пластов может потребоваться комбинация различных способов дегазации для достижения высоких нагрузок на очистные забои и обеспечения безопасности ведения работ. Затраты на дегазацию возрастают со сложностью геологических условий. Система дегазации должна обладать высокой надежностью и иметь запас устойчивости для исключения критического влияния на безопасность работ при разрушении отдельной скважины или выработки. Наиболее вероятный диапазон затрат на извлечение 1 м³ метана составляет от 0,06 до 0,24 \$ USA [106].

1.3 Оценка эффективности применяемых технологических схем отработки свит газоносных угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса

При отработке мощных газоносных угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса применяется система разработки длинными столбами с управлением кровлей полным обрушением. Одним из основных параметров столбовой системы разработки является длина лавы. В условиях шахты «Котинская» длина лавы постепенно повышалась, достигнув после объединения

шахты «Котинская» и «№7» в шахту «им.В.Д.Ялевского» 400 м (2017 г.). Изменение длины лавы в условиях шахты «Котинская» представлено на рисунке 1.14.

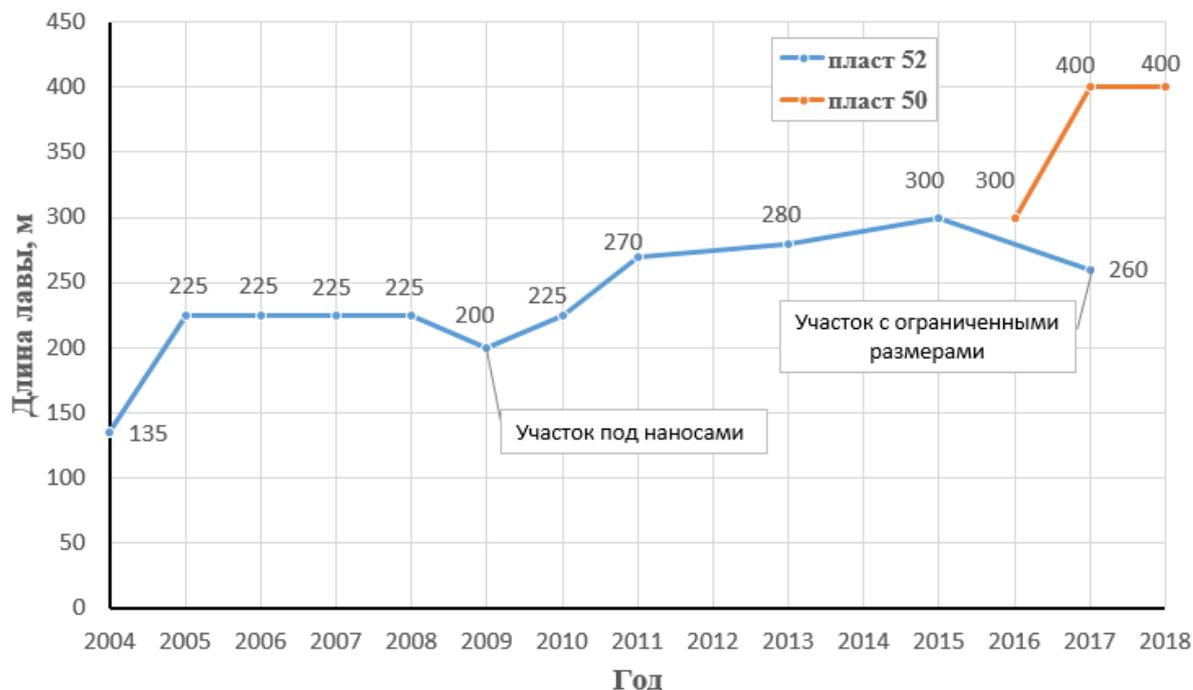


Рисунок 1.14 – Динамика изменения длины лавы при отработке мощных газоносных пластов на шахте «Котинская» («им.В.Д.Ялевского»)

Отработка свит газоносных угольных пластов требует выбора и применения эффективных схем управления газовыделением на выемочных участках. По мере развития горных работ на шахтах «Котинская» и «№7» и повышения с глубиной газообильности выемочных участков происходило постепенно изменение применяемых схем управления газовыделением, а также их параметров.

Отработка запасов выемочных участков 52-01 и 52-02 (рисунок 1.15) осуществлялась в зоне газового выветривания и осложнялась лишь малой глубиной ведения горных работ и наличием рыхлых пород, что способствовало значительному водопритоку с земной поверхности и обуславливало низкую устойчивость кровли при ведении очистных работ. Отработка последующих выемочных участков сопровождалась повышением газообильности выемочного участка.



Рисунок 1.15 – Выкопировка из плана горных работ по пласту 52 ш. «Котинская» (сверху вниз выемочные участки 52-02, 52-01, 52-06, 52-05, 52-04)

Отработка выемочного участка 52-03 характеризовалась объемом метановыделения в выработанном пространстве 20-43 м³/мин при средних значениях 30 м³/мин. При этом средняя концентрация метана на исходящей из лавы составляла от 0,2 до 0,4%. Таким образом, при отработке запасов на глубинах до 250 м и природной газоносности разрабатываемого пласта до 9 м³/т ограничения нагрузок на очистной забой по газовому фактору отсутствовали.

Интенсивная отработка выемочного участка 52-07 с нагрузками до 20000-25000 т/сут в условиях природной газоносности пласта 9 м³/т осуществляемая с применением одного ряда дегазационных скважин характеризуется увеличением газообильности выемочного участка до 140 м³/мин (рисунок 1.16).

На рисунке 1.17 представлены данные о влиянии нагрузки на очистной забой на концентрацию метана на исходящей из лавы. Как видно из рисунка 1.18 при общей тенденции к увеличению концентрации по мере роста нагрузок имеется значительный разброс значений концентраций для каждого уровня интенсивности ведения очистных работ.

Так, например, при нагрузке 20000 тонн/сут концентрация метана на исходящей может составлять от 0,15 до 0,68%, при средних значениях 0,41%, что также свидетельствует об определяющей роли газовыделения из выработанного пространства.

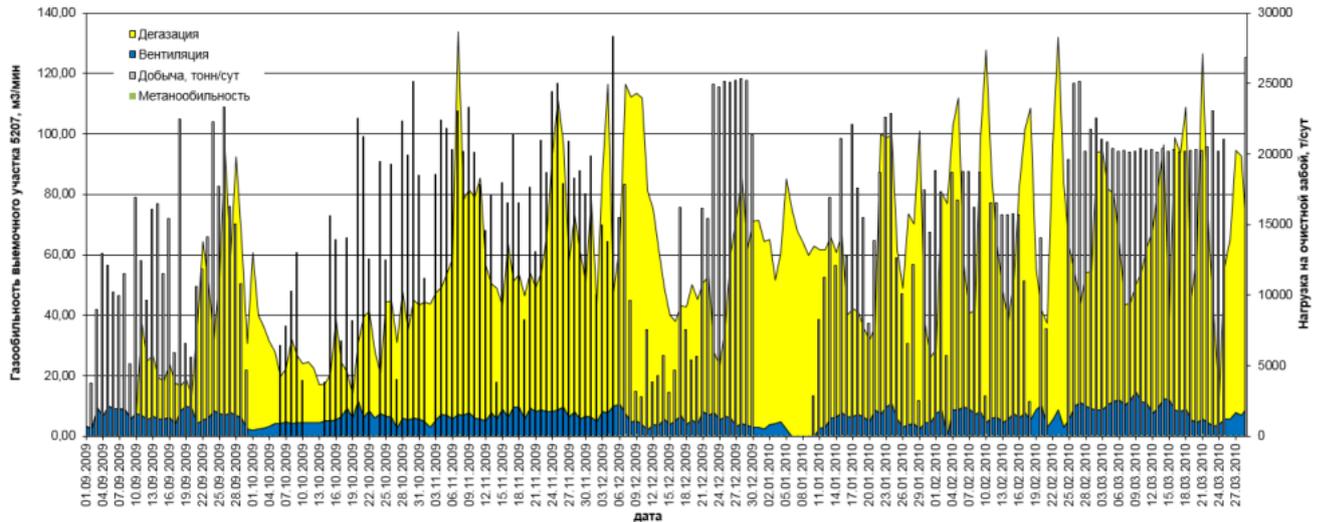


Рисунок 1.16 – Динамика нагрузок на очистной забой и абсолютной метанообильности
очистного забоя

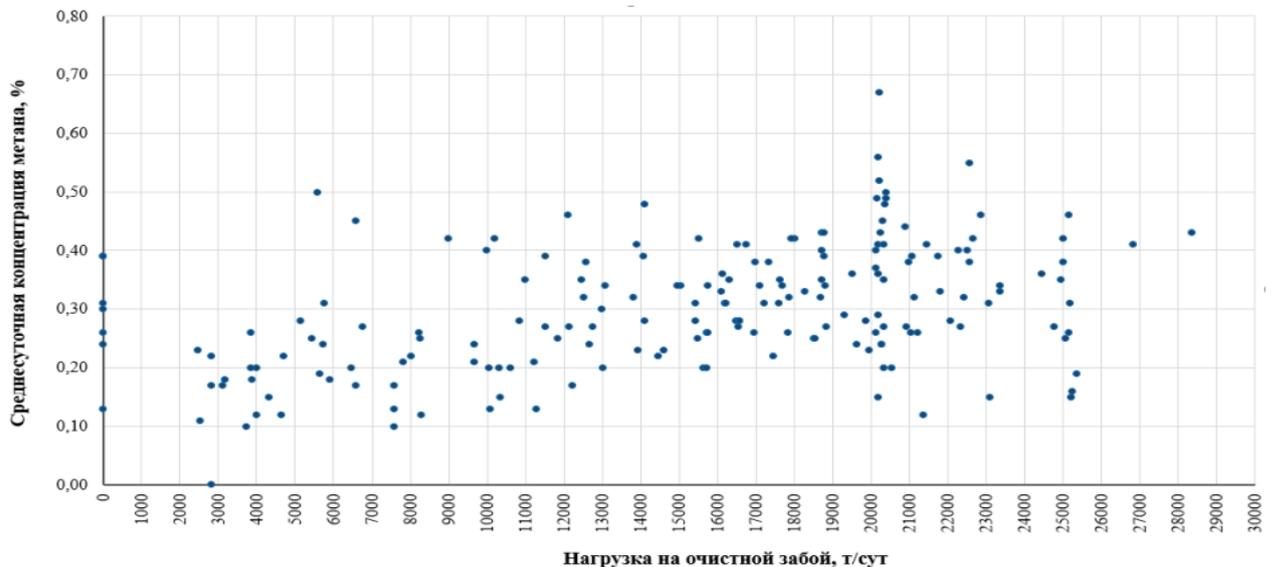


Рисунок 1.17 – Влияние нагрузки на очистной забой на концентрацию метана на
исходящей из лавы

Вместе с тем с целью увеличения нагрузок на очистной забой в условиях возрастающей природной газоносности разрабатываемого пласта при отработке запасов выемочного столба 52-08 на шахте «Котинская» была впервые применена комплексная дегазация, включающая:

- предварительную дегазация разрабатываемого пласта пластовыми скважинами;

- дегазация выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности;
- дегазация (изолированный отвод) выработанного пространства через скважины, пробуренные из параллельной выработки через целик;
- дегазация выработанного пространства через перемычки.

Необходимость применения комплексной дегазации и в частности дегазации разрабатываемого пласта для обеспечения безопасности интенсивной отработки газоносных угольных пластов подчеркивалась целым рядом авторов [1, 37, 38, 44, 49, 51, 97, 103].

Стоимостные параметры примененной комплексной дегазации представлены в таблице 1.6. Как видно из таблицы 1.6 порядка 50% всех затрат на комплексную дегазацию приходится на бурение с земной поверхности вертикальных дегазационных скважин. Вместе с тем на долю дегазации скважинами, пробуренными с земной поверхности, приходится 36,5 % всего удаленного метана (рисунок 1.18).

Затраты на проведение предварительной дегазации скважинами, пробуренными по разрабатываемому пласту, составляют 37,6 млн рублей (14% всех затрат на дегазацию), а ее доля в общем балансе удаляемого метана составляет 6,44%.

Анализ показателей применения комплексной дегазации показал низкую эффективность применения предварительной дегазации разрабатываемого пласта, и поскольку средствами вентиляции при увеличении расхода на выемочный участок успешно обеспечивалось эффективное разбавление метана, выделяющегося из разрабатываемого пласта, то дегазация разрабатываемого пласта на шахтах «Котинская» и «№7» больше не применялась.

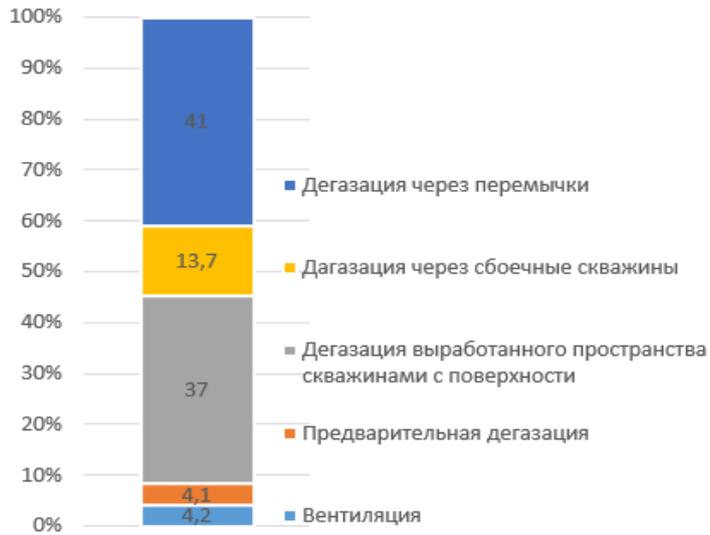


Рисунок 1.18 – Структура газового баланса выемочного участка 52-08

В таблице 1.7 представлены данные об объемах метана, удаляемого средствами вентиляции и дегазации при отработке запасов выемочного столба 52-08. Анализ данных, представленных в таблице 1.8 позволил построить зависимость удаляемых объемов метана от средней месячной добычи (рисунок 1.20). Из рисунка 1.19 видно, что объемы удаляемого метана прямо пропорциональны добыче угля. Также прямо пропорциональна объему добычи концентрация метана на исходящей из лавы струе (рисунок 1.20).

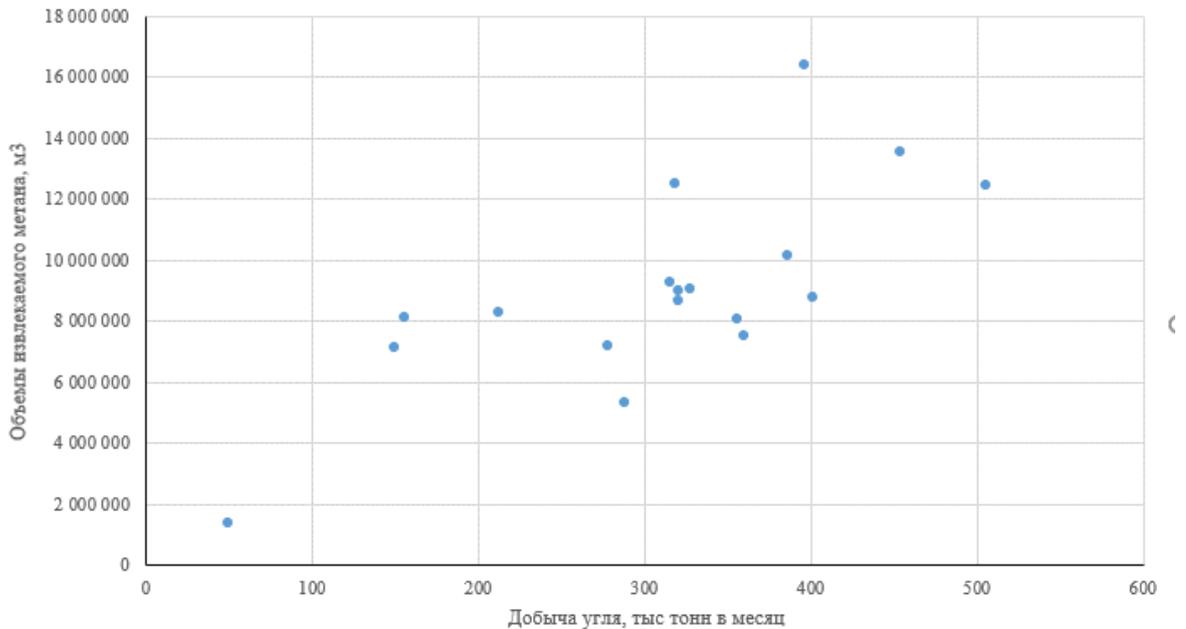


Рисунок 1.19 – Взаимосвязь объемов добычи на выемочном участке 52-08 и удаляемого метана

Таблица 1.6 – Затраты на основные работы по дегазации при отработке запасов участка 52-08 (цены 2012 года)

№п /п	Выполненные работы	Количество	Расположение по выработкам			Стоимость 1 м, руб /м	Общая стоимость выполненных работ, руб
			К.Ш. 52-08	В.Ш. 52-09	Путевой ствол юг		
1.	Бурение пластовых дегазационных скважин Ø=76 мм.	273 Скважины (шт.) 1 шт = 260 м. Общая длина: 70980 м.	273 скв.	-	-	531	37.690.380
2.	Бурение сбоечных скважин Ø=250мм	374 Скважины (шт.) 1 шт = 35 м. Общая длина: 13090 м.	-	374 скв.	-	982	12.854.380
3.	Бурение газодренажных скважин с поверхности Ø 273 мм.	2 Скважин (шт) 1 шт = 347 м. Общая длина: 694 м.	-	1 скв.	1 скв.	10835	7.519.490
4.	Бурение газодренажных скважин с поверхности Ø 219 мм.	3 Скважины (шт) 1 шт = 295 м. Общая длина: 885 м.	-	3 скв.	-	12343	10.923.555
5.	Бурение дегазационных скважин с поверхности Ø 190 мм. в купол обрушения.	89 Скважин (шт) 1 шт = 320 м. Общая длина: 26255 м.	Выработанное пространство Лавы 52-08			5000	131.275.000
6.	Бурение дегазационных скважин в сбойки с поверхности для отсоса метана из выработанного пространства Ø 190 мм.	7 Скважин (шт) 1 шт = 295 м. Общая длинна: 2065 м.				5000	10.325.000
7.	Монтаж дегазационного става Ø 273 мм.	1000 труб (шт) 1 шт = 4 м. Общая длина: 4000 м.	1000 шт	-	-	840	3.360.000
8.	Монтаж дегазационного става Ø 325 мм.	175 труб (шт) 1 шт = 4 м. Общая длина: 700 м.	-	175 шт	-	840	588.000
9.	Монтаж дегазационного става Ø 477 мм.	825 труб (шт) 1 шт = 4 м. Общая длина: 3300 м.	-	825 шт	-	840	2.772.000
10.	Обслуживание ПДУ	Ежесуточное дежурство.	На поверхности			16200 руб/ месяц чел	4.665.600 руб/в год
ИТОГО: руб/USD на 22.06.2012							263 963 805 (8.023.215 USD)

Таблица 1.7 – Объемы метана, удаляемые различными способами

Объем удаляемого метана, м ³	Способы удаления						Суммарный объем
	Вентиляция	Пластовая дегазация	Скважины с поверхности (нижний ряд)	Скважины с поверхности (верхний ряд)	Сбросная дегазация	Дегазация через перемычки	
Всего удалено	6 873 983	6 609 300	24 544 429	35 685 368	22 543 314	66 752 020	163 008 414
Доля в общем объеме извлеченного метана	4,2%	4,1%	15,1%	21,9%	13,8%	41,0%	100%

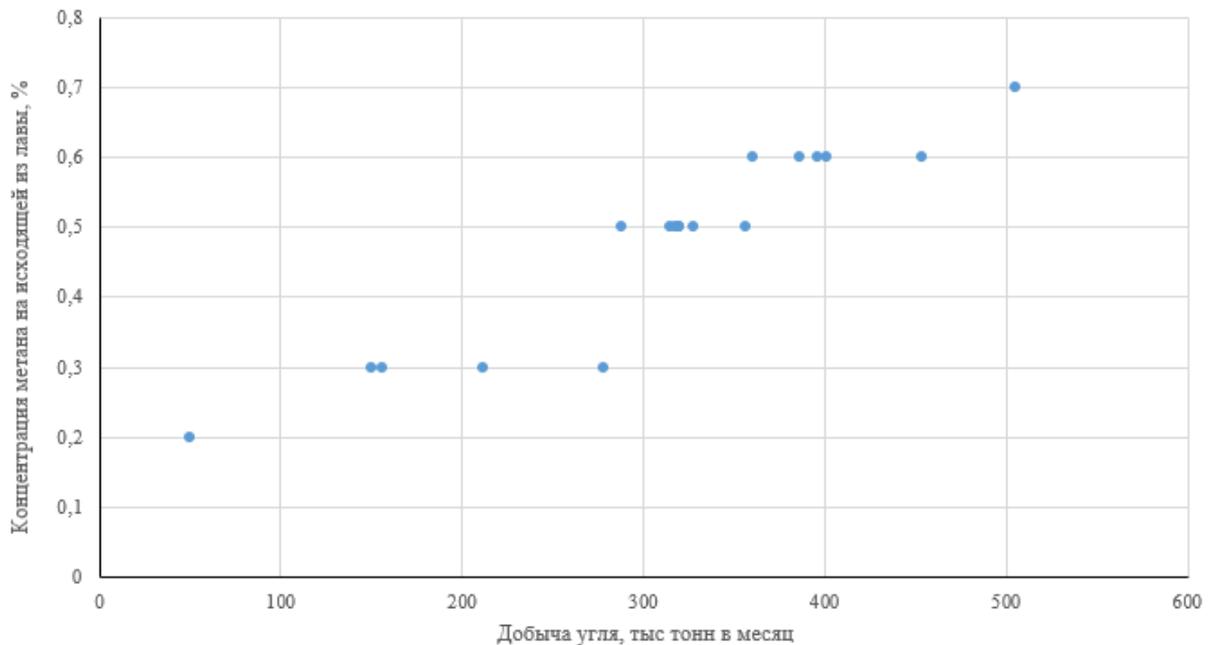


Рисунок 1.20 – Взаимосвязь объемов добычи на выемочном участке 52-08 и концентрации метана на исходящей из лавы

Выполненный анализ данных таблицы 1.7 позволяет сделать вывод о наличии существенного резерва возможностей вентиляции. При достижении месячной производительности лавы 500 тыс тонн возможности вентиляции с расходом 2050 м³/мин при средней концентрации 0,7% фактически исчерпаны, однако имеется резерв по увеличению среднего расхода воздуха в лаве до

2300 м³/мин с соответствующим ростом на исходящей из лавы (с учетом части воздуха, движущейся по выработанному пространству). Также существенный резерв имеется у дегазации выработанного пространства, который может быть реализован за счет замены используемой вакуум-насосной установки ВВН-50 на более производительную ВВН-150 (рисунок 1.21). Таким образом, имеется резерв для увеличения нагрузки на лаву свыше 500 тыс тонн в месяц.

Возможности обеспечения эффективного управления газовыделением без проведения пластовой дегазации - за счет увеличения среднего расхода воздуха в лаве до 2250 м³/мин - подтверждаются работой в аналогичных условиях лавы 52-09 на шахте «№7» (рисунок 1.22). На рисунке 1.22 представлены данные о взаимосвязи месячной нагрузки на очистной и концентрации метана на исходящей из лавы 52-09 (шахта «№7») в сравнении с ранее рассмотренными условиями выемочного участка 52-08 (шахта «Котинская»). Как видно из рисунка 5 увеличение расхода воздуха обеспечивает снижение концентрации на исходящей из лавы без применения дегазации разрабатываемого пласта.

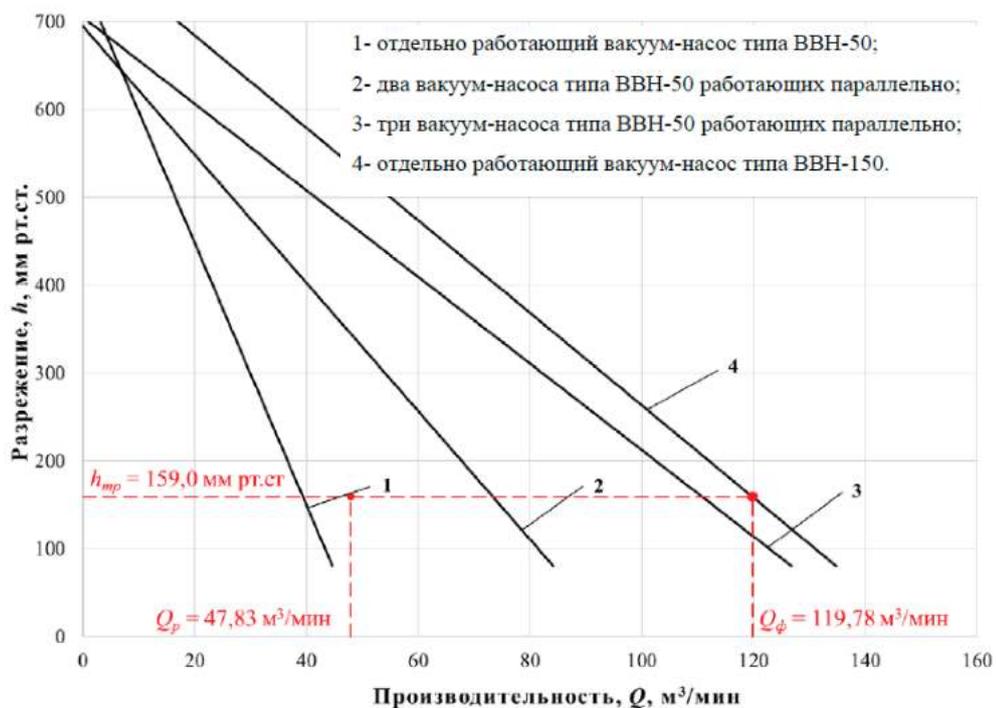


Рисунок 1.21 – Аэродинамические характеристики вакуум-насосных установок

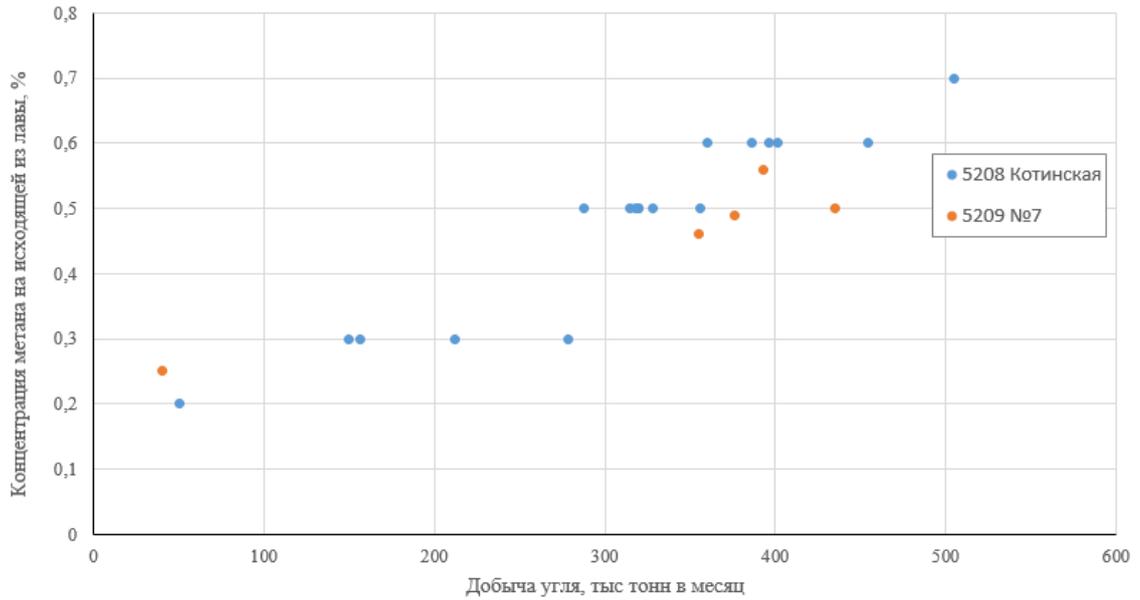


Рисунок 1.22 – Взаимосвязь объемов добычи на выемочном участке 52-08 и концентрации метана на исходящей из лавы

Увеличение длины лавы при отработке выемочного участка 52-10 на шахты Котинская до 300 м привело к существенному росту газообильности выемочного участка и росту концентрации метана на исходящей выемочного участка и в кутке при уже ранее достигнутых нагрузках на очистной забой.

На рисунке 1.23 представлены данные о влиянии нагрузки на очистной забой на среднюю и максимальную концентрацию метана в кутке лавы 52-10.

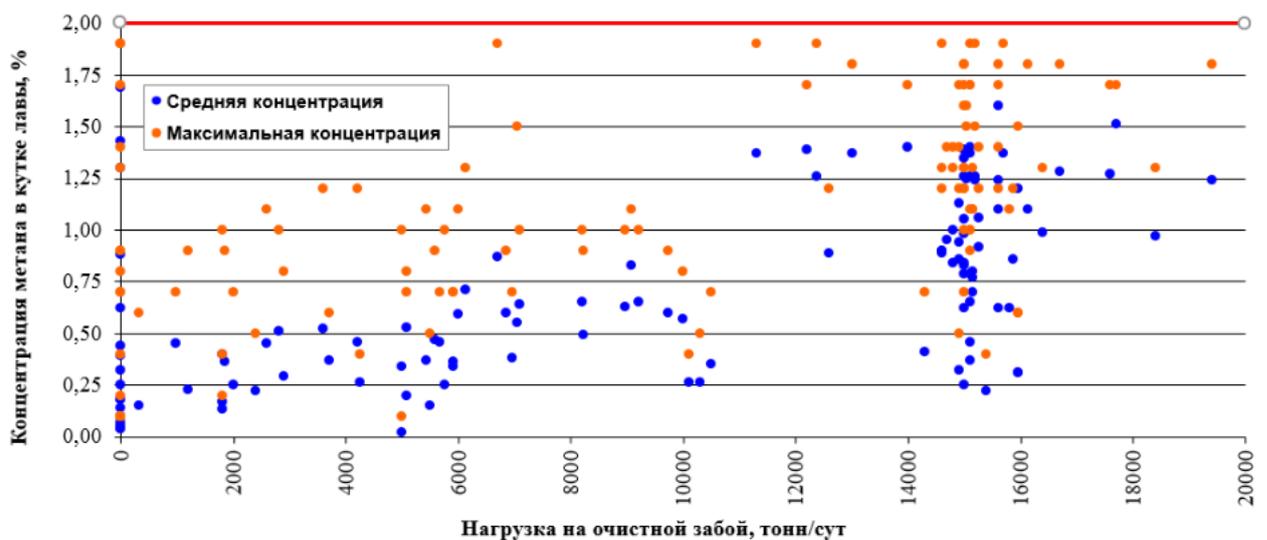


Рисунок 1.23 – Взаимосвязь нагрузки на очистной забой и концентрации метана в кутке лавы 52-10

Из рисунка 1.20 видно, что средняя и максимальная концентрации метана в диапазоне фактических нагрузок на лаву находится в допустимых пределах (1%), однако очевидно достигнут предел нагрузки на очистной забой по газовому фактору и дальнейшее увеличение нагрузок будет сопряжено с повышенной опасностью загазирования выработок.

Аналогичный вывод можно сделать по данным о концентрации метана на исходящей из лавы (рисунок 1.24). Предельная нагрузка на очистной забой в рассматриваемом случае составляет 15 тыс. тонн.

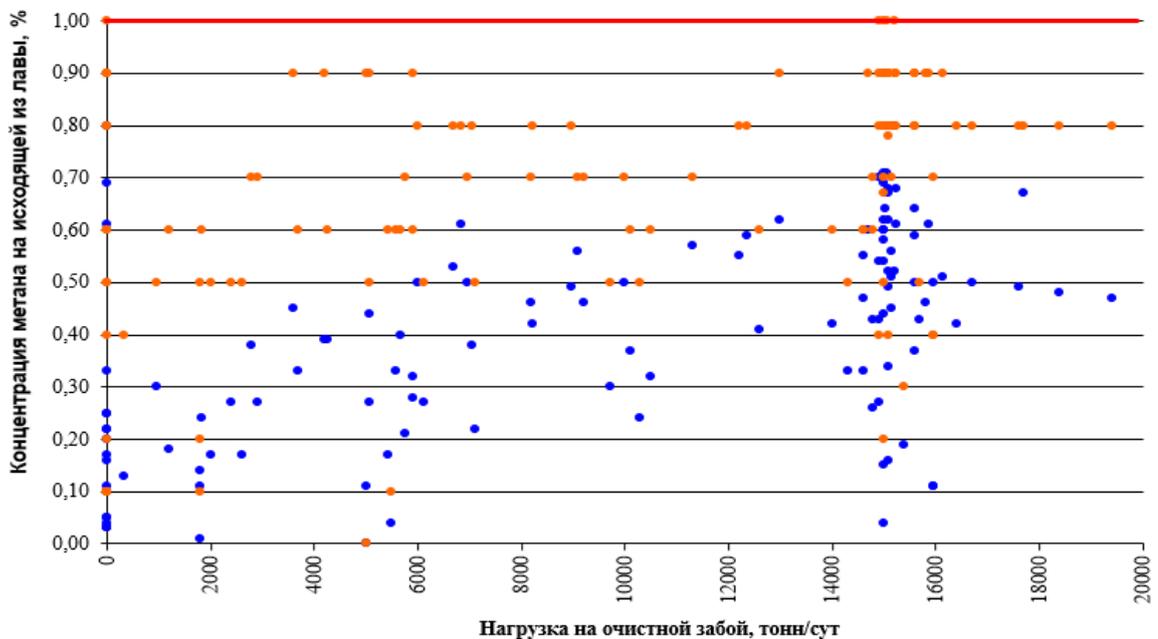


Рисунок 1.24 – Влияние нагрузки на очистной забой на концентрацию метана на исходящей из лавы 52-10

По нашему мнению, снижение эффективности управления газовыделением в данном случае обусловлено недостаточной эффективностью изолированного отвода, который в идеале должен обеспечить отвод всей части воздуха, движущейся по выработанному пространству и недопущение его возвращения на концевом участке лавы. Общее ухудшение газовой обстановки в лаве и появление выраженного газового барьера с предельной нагрузкой 15000 т/сут обусловлено как ростом газообильности выработанного пространства вследствие увеличения

длины лавы, так и исчерпанием возможностей по эффективному изолированному отводу метановоздушной смеси с использованием сбочных дегазационных скважин, что подтверждается достижением предельных значений (3,5%) концентрации метана в газоотсасывающем трубопроводе. Таким образом, необходимым условием обеспечения интенсивной отработки газоносных пластов при длине лавы 300 м и более является обеспечение эффективного изолированного отвода за счет увеличения расхода воздуха.

Сведения о динамике месячных нагрузок очистной забой при отработке запасов пласта 52 на шахте «Котинская» содержатся на рисунке 1.25.

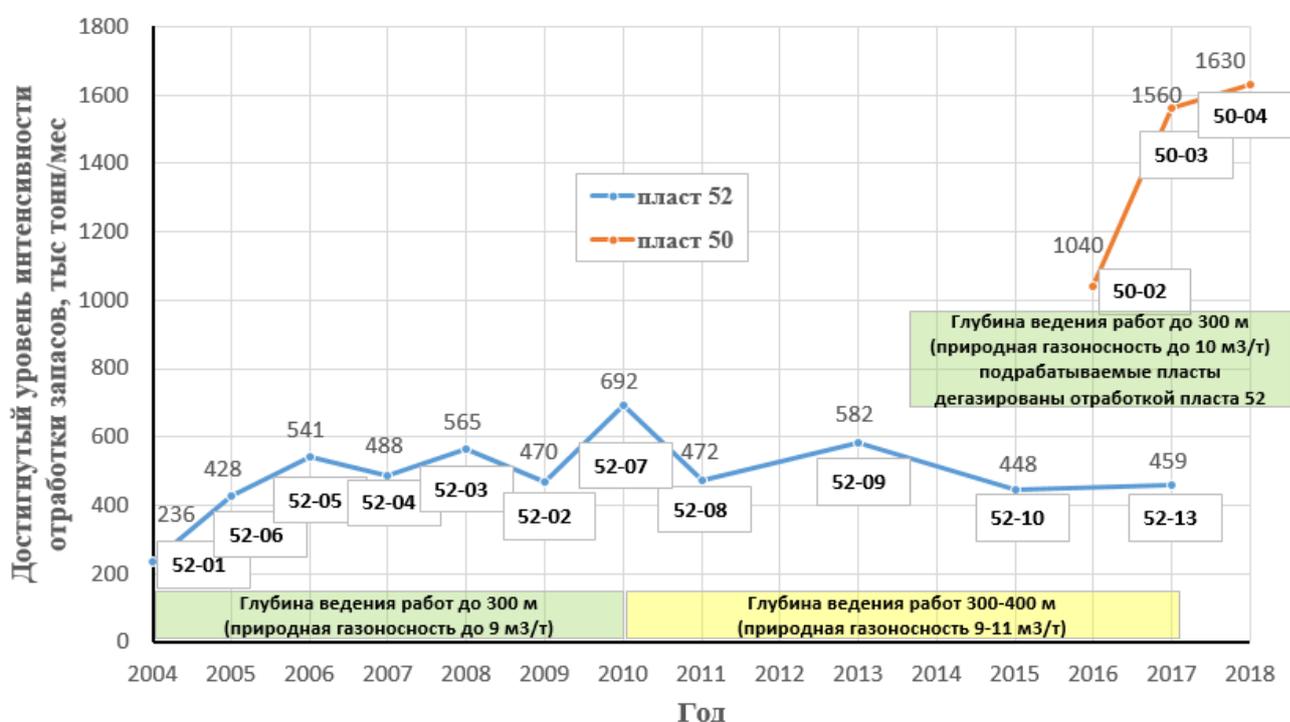


Рисунок 1.25 – Динамика изменения интенсивности отработки запасов выемочных участков

Как видно из рисунка 1.25 наблюдается снижение интенсивности отработки запасов пласта 52 даже с учетом повышения в 2011 году потенциальных возможностей очистного механизированного комплекса за счет роста длины лавы до 270-300 м. По нашему мнению, увеличение длины лавы привело к увеличению площади активного газовыделения и увеличению газообильности выработанных пространств.

Повышение интенсивности отработки пласта 50 обусловлено как благоприятными по газовому фактору условиями ведения работ (работа в зоне

влияния подработки пластом 52), так и применением в этих условиях более высокопроизводительного оборудования и более совершенных схем газуправления, позволивших существенно повысить эффективность изолированного отвода метановоздушной смеси.

Выводы о возможности эффективного управления газовыделением при интенсивной отработке мощных пологих газоносных пластов в условиях Соколовского месторождения Кузбасса с нагрузками до 500-600 тыс. тонн в месяц изложены автором в его работе [85]. Вместе с тем анализ опыта применения комбинированной схемы проветривания выемочных участков с использованием дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности, а также изолированного отвода метановоздушной смеси показал наличие значительного числа вариантов ее реализации с различными параметрами как схемы дегазации, так и изолированного отвода, эффективность и стоимость реализации которых, конечном итоге, изменялась в значительном диапазоне даже в пределах одной шахты [85]. На рисунке 1.26 представлены варианты расположения вертикальных дегазационных скважин при отработке пласта 52 в условиях шахты «им. В.Д.Ялевского» (бывшие шахты «Котинская» и «№7»).

Также в работе [85] указывается, что: “основными вариантами расположения скважин являются: расположение рядов скважин вдоль воздухоподающей и воздухоотводящей выработок (рисунок 1.26, А); вдоль воздухоотводящей выработки и по центру выемочного столба (рисунок 1.27, В); вдоль воздухоотводящей выработки (рисунок 1.26, С); по центру выемочного столба. Кроме различных схем расположения рядов варианты отличаются также расстоянием ряда скважин от соответствующей выработки (основные варианты – смещение ряда на 30 м или 70 м) и расстоянием между дегазационными скважинами, которое составляет от 40 до 80 м”.

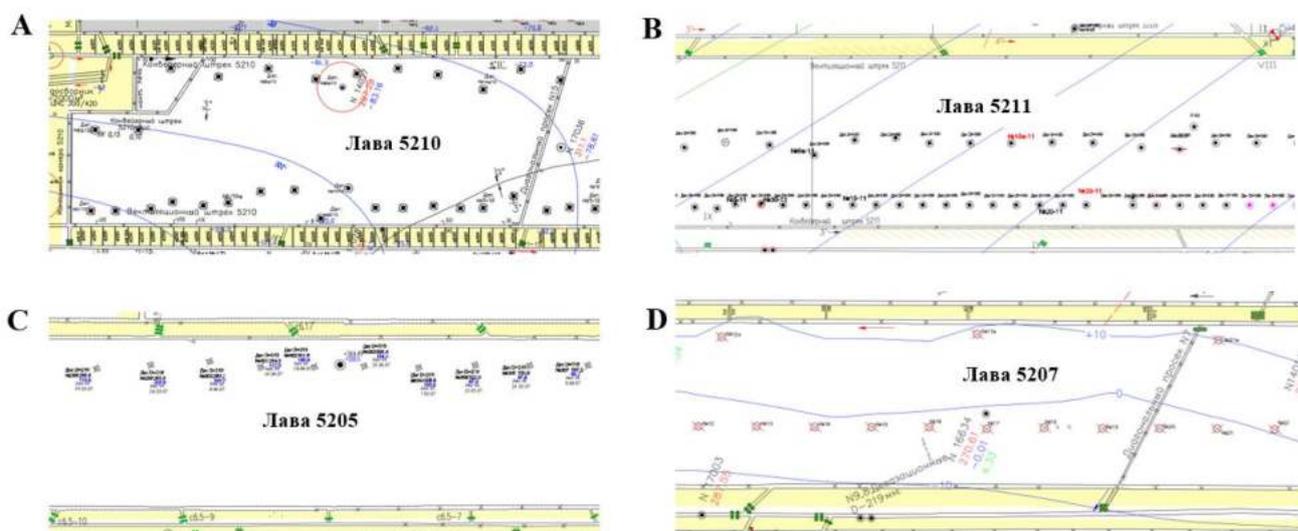


Рисунок 1.26 – Варианты расположения рядов дегазационных скважин при отработке пласта на шахтах «Котинская» и «№7» [85]

Выполненный анализ затрат на подготовку выемочных участков и бурение дегазационных скважин в условиях шахты «Котинская» (таблица 1.8) позволил сделать вывод о том, что на глубинах менее 300 м затраты на бурение дегазационных скважин составляют порядка 30-40% от затрат на подготовку участка; на глубинах 300-300 м – достигают 60% затрат на подготовку, а при глубине свыше 330 м указанные затраты сопоставимы.

Следует отметить, что, по нашему мнению, рост затрат на бурение обусловлен не только увеличением глубины горных работ и природной газоносности пластов, но и повышением длин лав, поскольку увеличение длин лавы увеличивает площадь подработки и дальность ее влияния.

Таблица 1.8 – Параметры подготовки выемочных столбов и бурения дегазационных скважин (затраты указаны в ценах 2018 г.)

Параметр	Выемочный участок			
	52-07	52-08	52-09	52-10
Глубина ведения горных работ, м	235-310	265-355	330-375	360-380
Длина лавы, м	160-220	270	200-280	200-300
Длина выемочного столба	3710	3480	3990	2392
Природная газоносность пласта, м ³ /т	9	9-10	9-10	9-10
Расстояние между скважинами в ряду скважин у вентиляционной выработки	-	80	30-40	50

Продолжение таблицы 1.8

Количество скважин	-	67	79	44
Расстояние между скважинами в ряду скважин по центру	70	-	-	-
Количество скважин	48	-	-	-
Расстояние между скважинами в ряду скважин у воздухоподающей выработки	470, 60	100-150	70	50-90
Количество скважин	13	22	50	30
Затраты на бурение вертикальных скважин, млн руб	154,7	275,9	451,5	273,8
Затраты на подготовку выемочного участка, млн руб	445,2	417,6	478,8	287

Значительное разнообразие применяемых схем расположения вертикальных дегазационных скважин требует детального изучения влияния параметров дегазации выработанного пространства на эффективность управления газовыделением, что обусловлено как постоянно возрастающей с глубиной стоимостью их бурения, так и определяющим вкладом выработанного пространства в газообильность выемочных участков при интенсивной отработке свит газоносных угольных пластов длинными очистными забоями.

1.4 Анализ и обобщение литературных источников по обоснованию параметров технологических схем интенсивной отработки склонных к самовозгоранию газоносных угольных пластов

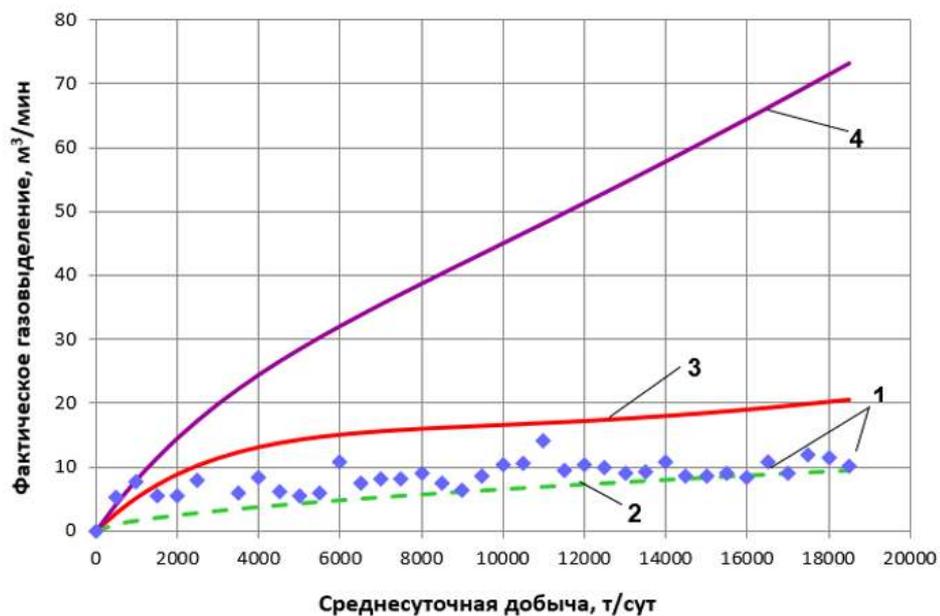
Анализ действующих нормативных документов [6, 12, 20, 21, 54, 56, 64, 78, 89-91] позволил выявить основные требования к параметрам схем интенсивной отработки склонных самовозгоранию газоносных угольных пластов.

В соответствии с п.1.2.4. «Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт» [78] данные о фактической природной газоносности разрабатываемого угольного пласта в контуре проектируемых выемочных столбов являются основой для выбора схемы проветривания проектируемых к отработке выемочных столбов и расчета параметров проветривания, а также для

принятия решения о необходимости применения предварительной пластовой дегазации.

При отработке выемочного столба 52-08 была “установлена неудовлетворительная сходимоть прогнозных и фактических данных о газообильности очистного забоя и выемочного участка” [70] (рисунок 1.27).

Следует отметить, что вывод о “недостаточной изученности процессов газовыделения, которая стала проявляться именно в последние годы с внедрением современной высокопроизводительной техники” при интенсивной отработке газоносных угольных пластов делается многими современными учеными, которые отмечают, что статистическая состоятельность функций, принятых в «Руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт» [78] для описания закономерностей газовыделения в лаве при современных скоростях подвигания очистных забоев фактически исчерпана [87].



1 - фактические данные о газовыделении в очистной забой, полученные при отработке выемочного участка лавы 52-08 пласта 52; 2 - прогноз ожидаемого газовыделения на выемочный участок по данным фактического газовыделения в лаву-аналог; 3 - прогноз ожидаемого газовыделения из разрабатываемого пласта по данным природной газоносности разрабатываемого пласта; 4 - прогноз ожидаемого газовыделения на выемочный участок по данным природной газоносности разрабатываемого пласта.

Рисунок 1.27 – Сравнительный анализ фактического и прогнозного газовыделения в очистной забой лавы 52-08 пласта 52

Как было установлено в работах [70], “фактическая газообильность всех отработанных на шахте «Котинская» выемочных участков значительно ниже прогнозных значений газовыделения, определенных по данным природной газоносности разрабатываемого пласта. Причем это отличие при разных нагрузках на очистной забой составляет от 2 до 5 раз”.

Таким образом, прогноз газообильности выемочных участков в условиях шахты “Котинская” по данным природной газоносности разрабатываемого пласта, для обеспечения инженерной точности расчетов, не допустим. Результаты таких расчетов фактически ставят под сомнение возможность отработки выемочных участков, так как вентиляционная сеть шахты не в состоянии обеспечить подачу воздуха на выемочный участок в объеме, в несколько раз превышающем фактический объем, подаваемый на ранее отработанные выемочные участки.

Следовательно, для прогноза газообильности выемочных участков, в том числе и определение максимально допустимой нагрузки на очистной забой для условий шахты “Котинская” необходимо использовать иные методы расчета, предусмотренные действующими нормативными документами.

В соответствии с требованиями «Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт» [78] и «Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах» предусматривается корректировка природной газоносности разрабатываемого угольного пласта по данным фактического газовыделения [21].

На основании требований данных документов производится корректировка природной газоносности разрабатываемого пласта в пределах проектируемых к отработке выемочных участков на основе данных фактической газообильности очистных и подготовительных выработок.

Для получения информации о фактической природной газоносности пласта в контуре проектируемых к отработке выемочных столбов выбираются подготовительные выработки – конвейерный штрек, конвейерный штрек, а также ранее отработанный выемочный участок лавы.

Следует отметить, что одним из ограничивающих факторов, определяющих предельные возможности вентиляции, является максимальный расход воздуха, который можно подать в очистную выработку при использовании для выемки угля механизированного комплекса.

при проектировании схем проветривания выемочных участков с изолированным отводом метана из выработанного пространства на пластах, склонных и весьма склонных к самовозгоранию, должны предусматриваться [21]:

- изоляция горных выработок от выработанных пространств действующих и ранее отработанных выемочных столбов взрывоустойчивыми изолирующими перемычками”;

- проведение газоотводящих сбоек или бурение скважин на расстоянии друг от друга, равном $2/3$ планируемого подвигания линии очистного забоя за инкубационный период самовозгорания угля;

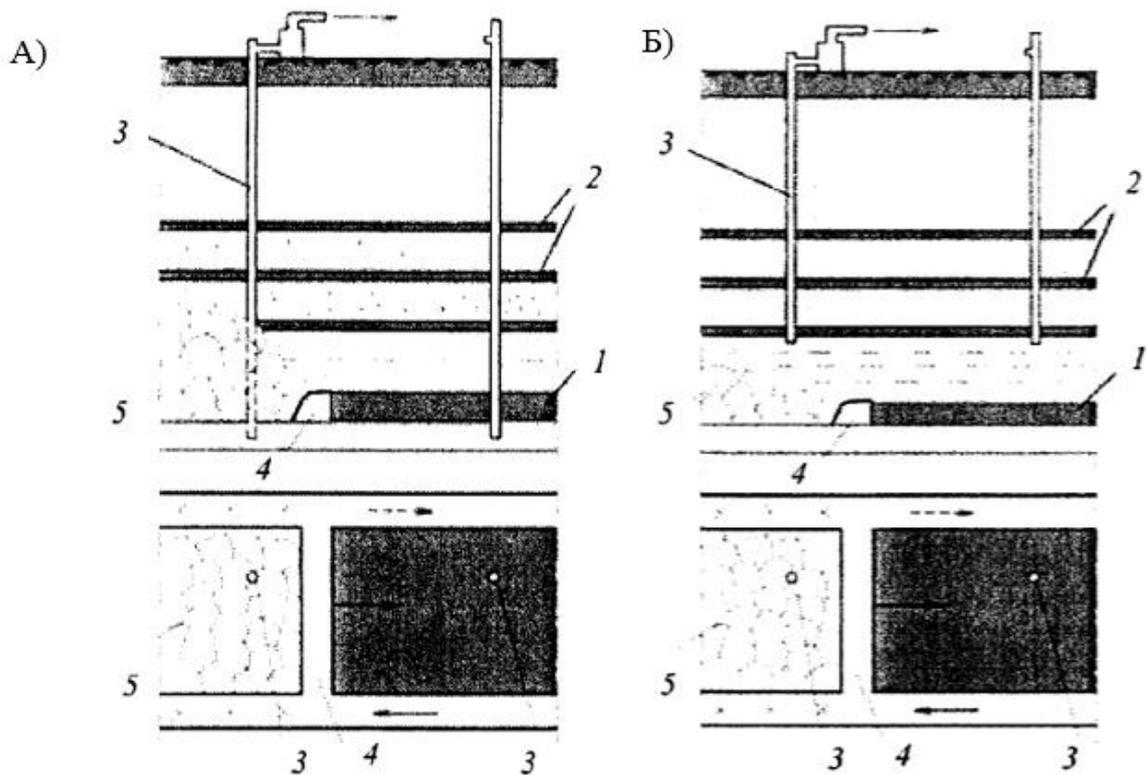
- проведение комплекса профилактических мероприятий по дезактивации разрыхленных потерь угля;

- инертизация выработанных пространств действующих и отработанных выемочных участков.

Проектирование дегазации подработанной толщи и выработанного пространства в России осуществляется в соответствии с действующим нормативным документом «Инструкция по дегазации угольных шахт» [20].

Дегазация залегающих в угленосной толще сближенных пластов и выработанных пространств скважинами с поверхности осуществляется при глубине разработки до 600 м при условии, что поверхность позволяет разместить буровое и дегазационное оборудование. Дегазационные скважины бурятся вдоль выемочного столба. Забои дегазационных скважин должны находиться в разгружаемой зоне подрабатываемого пласта. Первая скважина бурится на расстоянии 30 - 40 м от монтажной камеры [20].

Схемы дегазации выработанного пространства и подрабатываемых пластов представлены на рисунке 1.28.



1 - разрабатываемый пласт; 2 – сближенные пласты; 3 – скважины; 4 – очистной забой; 5 –выработанные пространства

Рисунок 1.28 – Схемы дегазации вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности [20]: А) Дегазация выработанных пространств и подрабатываемых пластов; Б) Дегазация подрабатываемых пластов

Таблица 1.9 – Максимально возможная эффективность дегазации выработанных пространств и подрабатываемых пластов скважинами, пробуренными с поверхности [20]

Схема дегазации	Условия применения	Коэффициент дегазации	Минимальная величина разрежения у устья скважины	
			кПа	мм. рт. ст.
Схема 1 - Дегазация выработанных пространств	Столбовая система разработки с погашением выработки за лавой	0,5-0,6	6,7	50
	Столбовая система разработки с поддержанием выработки с исходящей вентиляционной струей	0,4-0,5	6,7	50
	Сплошная система разработки	0,-,0,4	6,7	50
Схема 2 - Дегазация подрабатываемых пластов	-	0,6-0,7	20	150

Таким образом, применяемые в настоящее время в России нормативные документы содержат лишь рекомендации по расположению одного ряда дегазационных скважин со стороны вентиляционной выработки и рассматривают расположения дополнительных рядов дегазационных скважин. Кроме того, вызывают сомнения следующие рекомендации: «При отработке выемочных участков пласта, оконтуренных с обеих сторон выработанными пространствами, вертикальные скважины располагаются в ряд посередине выемочного столба [20], поскольку такое расположение противоречит принципу расположения скважин вдоль вентиляционной выработки и не обеспечивает, по нашему мнению, эффективного удаления метана в части выработанного пространства со стороны вентиляционной выработки.

Представляет интерес рекомендации по рациональному порядку отработки свит газоносных угольных пластов, который по мнению некоторых авторов [80] должен обеспечивать не только высокопроизводительную и безопасную отработку этих пластов, но и обеспечивать максимальное извлечение и утилизацию шахтного метана.

1.5 Оценка газообильности выемочных участков при интенсивной отработке свит газоносных угольных пластов Соколовского месторождения

Оценка газообильности выемочных участков, отрабатывающих мощные газоносные пласты 52 и 50 в условиях Соколовского месторождения, осуществлялась на основе расчета газовыделение из подрабатываемых и надрабатываемых пластов, разрабатываемого пласта и вмещающих пород с учетом средних и максимально достигнутых нагрузок на очистные забои. Следует отметить, что расчет газовыделения из разрабатываемого пласта осуществлялся по фактическому газовыделению в лаву аналог, поскольку как было показано в параграфе 1.4 расчет по остаточной газоносности приводит к получению результатов в 4-5 раз превышающих фактические данные.

Относительное метановыделение как из подрабатываемых $\sum q_{с.п.i}$ так и из надрабатываемых $\sum q_{с.п.и}$ сближенных пластов, м³/т, определяется по формуле (1.4) [21]:

$$q_{с.п.i} = \frac{m_{с.п.i}}{m_{в}} (X_{с.п.i} - X_{оi}) \left(1 - \frac{M_{с.п.i}}{M_{р}}\right), \quad (1.4)$$

где $m_{с.п.i}$ – суммарная мощность угольных пачек отдельного i -го сближенного пласта, м; $M_{с.п.i}$ – расстояние от разрабатываемого пласта до i -го сближенного пласта, м; $M_{р}$ – расстояние по нормали между разрабатываемым и сближенным пластами, при котором метановыделение из последнего практически равно нулю, м; $X_{с.п.i}$ – природная газоносность i -го сближенного пласта, м³/т; $X_{оi}$ – остаточная газоносность угля i -го сближенного пласта, м³/т, определяется так же, как $X_{о}$.

Для Кузнецкого бассейна при подработке расстояние по нормали между разрабатываемым и сближенным пластами, при котором газовыделение из последнего практически равно нулю, определяется по формуле (1.5) [21]:

$$M_{р} = k_{у.к} m_{в.п.р} (1,2 + \cos \alpha_{пл}), \text{ м} \quad (1.5)$$

где $k_{у.к}$ - коэффициент, при полном обрушении пород кровли $k_{у.к} = 40$; $m_{в.п.р}$ - вынимаемая мощность пласта с учетом породных прослоек [21]; $\alpha_{пл}$ - угол падения пласта, град.

В таблице 1.10 представлены основные характеристики пластов-спутников, необходимые для расчета относительного метановыделения.

Результаты расчета относительного метановыделения из пластов-спутников в выработанное пространство выемочных участков пластов 52 и 50 представлены в таблице 1.11. Как видно из таблицы 1.11 на долю надрабатываемых пластов приходится от 5 до 18% всего газовыделения из пластов спутников при отработке пласта 52 и от 14 до 22% - при отработке пласта 50.

Таблица 1.10 – Характеристика пластов-спутников, попадающих в зону под- и надработки выемочных участков пластов 52 и 50

Выемочный участок	Пласты спутники	Мощность пласта-спутника, $M_{сп}$, м	Мощность междупластья, $M_{сп}$, м	Предельная мощность междупластья, $(q_{сп} = 0)$, M_p , м	Природная метаноносность пласта-спутника		Остаточная газоносность пласта-спутника		-	Зольность, A^s , %	Влажность, W , %	Выход летучих, $V_{лет}$, %	Относительное метановыделение пласта-спутника, $q_{сп}$, $м^3/т$
					$X_{сп}$, $м^3/т$ с.б.м	$X_{сп}$, $м^3/т$	$X_{сп.0}$, $м^3/т$, с.б.м	$X_{сп.0}$, $м^3/т$, -					
52-08	Подрабатываемые пласты												
	58	4,26	188	300	5,73	-	2,5	-	-	39,2	15,2	4,0	0,97
	57	2,03	148		7,39	-	2,5	-	-	39,6	8,2	4,1	1,03
	56	0,46	120		7,88	-	2,5	-	-	39,3	7,7	3,7	0,31
	53	1,28	48		9,16	-	2,5	-	-	38,6	13,7	4,0	1,37
Разрабатываемый пласт													
52	4,59	0	-	12,0	10,98	2,5	2,20	-	6,3	5,9	41,7	-	
52-10	61	2,22	287,5	300	5,0	4,48	2,5	2,23	-	39,5	6,1	4,9	0,05
	60	2,26	265,54		5,7	5,12	2,5	2,23	-	39,4	6,1	4,6	0,18
	59	2,08	241,2		6,5	5,69	2,5	2,21	-	38,8	7,5	4,3	0,33
	58	4,22	189,14		7,8	6,95	2,5	2,23	-	40,8	6,4	4,6	1,73
	57	2,72	145,34		8,8	7,77	2,5	2,21	-	40	7,7	3,9	1,83
	56	0,36	123,02		9,2	8,19	2,5	2,22	-	39,2	7,7	3,7	0,30
	б/н	0,2	101,64		9,6	8,55	2,5	2,22	-	39,2	7,7	3,7	0,20
	55	0,16	87,48		9,9	8,77	2,5	2,22	-	39,2	7,7	3,7	0,17
	53	1,16	36,28		10,8	9,05	2,5	2,11	-	39,3	12,1	3,7	1,66
	Разрабатываемый пласт												
52	4,27	-	-	11,3	10,07	2,5	2,23	-	41,4	6,8	4,1	-	
Надрабатываемые пласты													
51	2,6	33,38	-	11,7	9,97	2,5	2,12	-	40,5	11,5	3,6	0,22	
52-11	Подрабатываемые пласты												
	60	2,12	285	300	5,9	5,05	2,5	2,12	-	7,5	7,6	39,6	0,07
	59	1,93	268		6,5	5,20	2,5	1,99	-	12,9	7,5	38,5	0,14

Продолжение таблицы 1.10

	58	3,70	214		8,4	6,22	2,5	1,85	19,1	7,1	40,3	1,01	
	57	2,13	155		9,6	6,90	2,5	1,80	20,9	7,3	39,7	1,14	
	56	0,94	153		9,6	6,92	2,5	1,80	20,9	7,3	39,7	0,51	
	53	1,79	55		11,1	8,16	2,5	1,84	19,8	6,7	39,6	2,01	
	Разрабатываемый пласт												
	52	4,59	0		12,0	10,9 8	2,5	2,20	6,3	5,9	41,7	-	
	Надрабатываемые пласты												
	б/н	0,25	2	35	12,0	10,5 7	2,5	2,20	6,3	5,9	41,7	0,43	
	51	2,34	29		12,5	8,95	2,5	1,80	22	6,2	40,5	0,63	
52-12	Подрабатываемые пласты												
	60	2,00	287	300	3,8	3,41	2,5	2,23	6,2	4,6	39,4	0,02	
	59	1,90	270		4,4	3,88	2,5	2,19	8,0	4,3	38,8	0,06	
	58	3,89	215		6,3	5,55	2,5	2,19	8,0	4,6	40,8	0,71	
	57	2,19	158		8,3	7,31	2,5	2,19	8,5	3,9	40,0	1,01	
	56	0,72	155		8,4	6,65	2,5	1,98	17,1	3,7	39,2	0,31	
	53	1,60	56		10,4	8,74	2,5	2,11	12,1	3,7	39,3	1,65	
	Разрабатываемый пласт												
	52	5,24	0		11,3	9,92	2,5	2,20	6,3	5,9	41,7	-	
Надрабатываемый пласт													
51	2,34	27	35	11,7	9,72	2,5	2,07	13,6	3,6	40,5	0,78		
52-13	Подрабатываемые пласты												
	60	1,84	288	300	4,4	3,94	2,5	2,23	6,2	4,6	39,4	0,03	
	59	1,92	269		5,1	4,46	2,5	2,19	8,0	4,3	38,8	0,10	
	58	4,28	216		6,9	6,06	2,5	2,19	8,0	4,6	40,8	0,98	
	57	2,32	159		8,1	7,07	2,5	2,19	8,5	3,9	40,0	1,13	
	56	0,86	155		8,2	6,46	2,5	1,98	17,1	3,7	39,2	0,39	
	53	1,84	53		9,6	8,04	2,5	2,11	12,1	3,7	39,3	1,91	
	Разрабатываемый пласт												
	52	4,72	0	-	10,9	9,57	2,5	2,20	6,3	5,9	41,7	-	
Надрабатываемый пласт													

Продолжение таблицы 1.10

	51	2,38	32	35	11,1	9,15	2,5	2,07	-	13,6	3,6	40,5	0,31
52-14	Подрабатываемые пласты												
	61	2,32	292	300	4,3	3,85	2,5	2,22	6,2	4,9	39,5	0,02	
	60	2,42	273		5,0	4,46	2,5	2,23	6,2	4,6	39,4	0,09	
	59	2,42	250		5,8	5,09	2,5	2,19	8,0	4,3	38,8	0,22	
	58	4,12	198		7,6	6,66	2,5	2,19	8,0	4,6	40,8	1,20	
	57	2,48	155		8,5	7,43	2,5	2,19	8,5	3,9	40,0	1,20	
	56	0,30	128		9,0	7,14	2,5	1,98	17,1	3,7	39,2	0,17	
	б/н	0,22	108		9,4	7,46	2,5	1,98	17,1	3,7	39,2	0,15	
	55	0,14	92		9,7	7,72	2,5	1,98	17,1	3,7	39,2	0,11	
	53	1,08	44		10,5	8,81	2,5	2,11	12,1	3,7	39,3	1,18	
	Разрабатываемый пласт												
	52	5,24	0	-	11,2	9,83	2,5	2,20	6,3	5,9	41,7	-	
	Надрабатываемый пласт												
	51	2,76	33	35	11,7	9,72	2,5	2,07	13,6	3,6	40,5	0,23	

Таблица 1.11 – Результаты расчета относительного метановыделения из пластов-спутников в выработанное пространство выемочных участков пластов 52 и 50

Выемочный участок	Метановыделение, м ³ /т		
	из подрабатываемых пластов, $q_{сн}$,	из надрабатываемых пластов, $q_{сн}$	суммарное из пластов-спутников, $\Sigma q_{сн}$
Пласт 52			
52-08	3,68	0,19	3,87
52-10	6,45	0,22	6,67
52-11	4,90	1,06	5,96
52-12	3,76	0,78	4,54
52-13	4,53	0,31	4,84
52-14	4,33	0,23	4,56
Пласт 50			
50-02	3,77	0,68	4,46
50-03	4,14	1,21	5,35
50-01	3,27	0,57	3,84

В соответствии с [21]: “для действующих шахт метанообильность очистного забоя рассчитывается на основе природной газоносности пластов, установленной по данным фактического абсолютного метановыделения в очистные выработки (X_{ϕ} , м³/т) в зависимости от фактической добычи угля A_{ϕ} (т/сут)”.

Расчет метановыделения из вмещающих пород

Для условий Кузбасса относительное метановыделение из вмещающих пород рассчитывается по формуле (1.9) [21]:

$$q_{пор} = k_n \cdot q_{нлв} \text{ м}^3/\text{т}, \quad (1.9)$$

где k_n - коэффициент, при $V^{daf} > 20\%$ и полном обрушении кровли - $k_n = 0,15$.

Результаты расчета относительного метановыделения из вмещающих пород для выемочных участков пластов 52 и 50 представлены в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Результаты расчета относительного метановыделения из вмещающих пород для выемочных участков пластов 52 и 50

Выемочный участок	Абсолютное метановыделение из разрабатываемого пласта $I_{пл}$, м ³ /МИН	Относительное метановыделение, м ³ /т	
		из разрабатываемого пласта, $q_{пл}$	из вмещающих пород $q_{пор}$
Пласт 52			
52-08	15,89	1,25	0,19
52-10	18,19		
52-11	17,33	0,80	0,12
52-12	13,67	0,63	0,09
52-13	17,34	0,77	0,12
52-14	20,86	0,96	0,14
Пласт 50			
50-02	11,87	0,82	0,12
50-03	12,48	0,81	0,12
50-01	8,52	0,58	0,09

Результаты расчета относительного метановыделения для выемочных участков пластов 52 и 50 представлены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Результаты расчета относительного метановыделения для выемочных участков пластов 52 и 50

Наименование выемочного участка	Относительное метановыделение из разрабатываемого пласта, $q_{пл}$, м ³ /т	Относительное метановыделение в выработанное пространство, м ³ /т			
		из вмещающих пород, $q_{пор}$	из подрабатываемых пластов	из надрабатываемых пластов	Суммарное (из всех источников)
Пласт 52					
52-08	1,25	0,19	3,68	0	3,87
52-10	1,09	0,16	6,45	0,22	6,83
52-11	0,80	0,12	4,90	1,06	6,08
52-12	0,63	0,09	3,76	0,78	4,63
52-13	0,77	0,12	4,53	0,31	4,96
52-14	0,96	0,14	4,33	0,23	4,7
Пласт 50					
50-02	0,82	0,12	3,77	0,68	4,57
50-03	0,81	0,12	4,14	1,21	5,47
50-01	0,58	0,09	3,27	0,57	3,93

Оценка абсолютного метановыделения на выемочный участок

Результаты расчета абсолютного метановыделения выполнены для выемочных участков пластов 52 и 50 представлены в таблицах 1.14 и 1.15.

Таблица 1.14 – Результаты расчета ожидаемого абсолютного метановыделения для выемочных участков пластов 52 и 50 (средние нагрузки на очистные забои)

Выемочный участок	Добыча, $A_{сут}$, т/сут	Абсолютное метановыделение, м ³ /мин		
		в очистной забой, $I_{оч}$	из выработанного пространства $I_{в.п.}$	в выработки выемочного участка, $I_{уч}$
Пласт 52				
52-08	18300	15,89	49,18	65,07
50-10	15000	11,35	71,15	82,50
52-11	14200	7,89	59,96	67,84
52-12	14200	6,21	45,66	51,87
52-13	15500	8,29	53,39	61,68
52-14	15500	10,33	50,59	60,92
Пласт 50				
50-02	30000	17,08	95,21	112,29
50-03	35000	19,69	132,95	152,64
50-01	35000	14,10	95,52	109,62

Таблица 1.15 - Результаты расчета ожидаемого абсолютного метановыделения для выемочных участков пластов 52 и 50 (максимальные нагрузки на очистные забои)

Выемочный участок	Добыча, $A_{сут}$, т/сут	Абсолютное метановыделение, м ³ /мин		
		в очистной забой, $I_{оч}$	из выработанного пространства $I_{в.п.}$	в выработки выемочного участка, $I_{уч}$
Пласт 52				
52-08	25000	21,70	67,19	88,89
52-09	35000	17,89	67,02	84,91
52-10	30000	22,71	142,29	165,00
52-11	35000	19,44	147,78	167,22
52-12	35000	15,31	112,53	127,85
52-13	35000	18,72	120,56	139,27
52-14	30000	20,00	97,92	117,92

Продолжение таблицы 1.15

Пласт 50				
50-02	35000	19,93	111,08	131,01
50-03	50000	28,13	189,93	218,06
50-01	50000	20,14	136,46	156,60

Выполненные расчеты газообильности выемочных участков по пласту 52 позволяют сделать вывод, что при текущей интенсивности отработки запасов при средних нагрузках на очистной забой от 14000 до 18300 т/сут расчетная абсолютная газообильность лавы составляет от 6 до 16 м³/мин, газообильность выработанного пространства – от 45 до 72 м³/мин, газообильность выемочного участка - от 51 до 83 м³/мин. При интенсивной отработке запасов выемочных участков по пласту 52 с максимальными нагрузками на очистной забой порядка 25000-35000 т/сут расчетная абсолютная газообильность лавы составляет от 15 до 23 м³/мин, газообильность выработанного пространства – от 67 до 148 м³/мин, газообильность выемочного участка - от 84 до 168 м³/мин.

При интенсивной отработке запасов пласта 50 при средних нагрузках на очистной забой от 30000 до 35000 т/сут расчетная абсолютная газообильность лавы составляет от 14 до 20 м³/мин, газообильность выработанного пространства – от 95 до 133 м³/мин, газообильность выемочного участка - от 110 до 162 м³/мин. При интенсивной отработке запасов выемочных участков по пласту 50 с максимальными (рекордными) нагрузками на очистной забой порядка 35000-50000 т/сут расчетная абсолютная газообильность лавы составляет от 19 до 28 м³/мин, газообильность выработанного пространства – от 111 до 190 м³/мин, газообильность выемочного участка - от 131 до 156 м³/мин.

1.6 Выводы по первой главе

1. Горно-геологические и горнотехнические условия отработки мощных газоносных пластов Соколовского месторождения Кузбасса в целом характеризуются как благоприятные для обеспечения интенсивной отработки

запасов с использованием современного высокопроизводительного оборудования: разрабатываемые мощные пласты 50 и 52 имеют относительно простое строение и относительно выдержаны по мощности; угли пластов характеризуются высокой трещиноватостью и имеют малую прочность; отсутствуют крупные дизъюнктивные нарушения; глубина ведения горных работ не превышает 440 м.

В качестве основных факторов, осложняющих условия отработки, следует выделить:

- высокие водопритоки выработки выемочных участков;
- существенную метанообильность выемочных участков при интенсивной отработке запасов;
- склонность разрабатываемых пластов к самовозгоранию;
- круто-наклонное залегание (до 65°) юго-западного крыла на площади участка Соколовской синклинали.

2. Анализ зарубежного опыта интенсивной отработки свит газоносных угольных пластов показывает, что одним из наиболее эффективных способов дегазации выработанного пространства является способ дегазации вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности. К достоинствам этого способа следует отнести: проведение дегазации независимо от горных работ; возможность извлечения больших объемов газа с высокой концентрацией метана; невысокая стоимость на малых и средних глубинах. Недостатками способа является рост затрат с увеличением глубины ведения горных работ, наличие ограничения применения способа по глубине (не более 600 м).

3. Анализ эффективности применяемых технологических схем отработки мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса позволил сделать следующие выводы:

- применения пластовой дегазации разрабатываемой дегазации без гидроразрыва пласта является неэффективным и высокзатратный способом управления газовой выделением;
- дегазация выработанного пространства с использованием дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности реализуется с использованием

большого числа вариантов расположения и количества дегазационных скважин и характеризуется значительным диапазоном эффективности дегазации и стоимости ее реализации;

- стоимость бурения дегазационных скважин на выемочных участках шахт, обрабатывающих мощные пласты Соколовского месторождения Кузбасса на глубинах свыше 330 м сопоставима, а на глубинах более 350 м - превышает стоимость проведения комплекса участковых подготовительных выработок;

- применение комбинированной схемы проветривания с изолированным отводом метановоздушной смеси является обязательным условием успешного управления газовой выделением на выемочном участке;

- ограничения нагрузок на очистные забои при отработке мощных газоносных склонных к самовозгоранию пластов Соколовского месторождения связаны, в первую очередь, со следующими опасностями: загазирования кутка (погашаемой за лавой части конвейерного штреков); превышением допустимой концентрации метана (3,5%) в газоотводящем трубопроводе;

- интенсивная отработка запасов с использованием изолированного отвода метановоздушной смеси через сбочные скважины характеризуется значительными объемами бурения, высокой частотой переключения скважин, низкой эффективностью применения вследствие малых расходов метановоздушной смеси (до 150-200 м³/мин);

4. Выполненная оценка газообильности выемочных участков при интенсивной отработке мощных пластов 50 и 52 в составе свит газоносных угольных пластов Соколовского месторождения с нагрузками на очистной забой 15000-50000 т/сут показала, что газообильность выработанных пространств составляет от 50 до 220 м³/мин и определяется в первую очередь нагрузкой на очистной забой и газовой выделением из подрабатываемых сближенных пластов;

5. Выполненный анализ мирового опыта интенсивной отработки пологих газоносных угольных пластов, анализ эффективности применяемых технологических схем позволил сформулировать следующие задачи и цель исследований.

Основные задачи исследований:

1. Шахтные исследования влияния параметров схем подготовки, отработки и управления газовыделением на выемочных участках на эффективность управления газовыделением с целью снижения (полного снятия) ограничений нагрузки на очистные забои по газовому фактору.

2. Численные исследования влияния параметров подготовки и отработки выемочных участков, схем дегазации и изолированного отвода на предельно допустимую нагрузку на очистной забой по газовому фактору.

3. Разработка рекомендаций по определению оптимальных параметров схем подготовки, дегазации выработанного пространства и изолированного отвода метановоздушной смеси при интенсивной отработке склонных к самовозгоранию мощных газоносных угольных пластов.

4. Определение области рационального применения и оценка экономической эффективности разработанных рекомендаций.

Цель работы. Повышение эффективности интенсивной отработки мощных пологих газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов, разрабатываемых в составе свит пластов на шахтах Кузбасса.

ГЛАВА 2 ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ

2.1 Выбор методики проведения исследований

Объект исследований: выемочные участки шахт «Котинская» и «№7» (в настоящее время шахта «им.В.Д.Ялевского»), ведущие отработку пластов 52 и 50.

Предметом исследований является влияние параметров применяемых технологических схем на эффективность управления газовойделением на выемочных участках.

Период проведения исследований: 2009-2018 гг.

Цель исследований: установление влияния параметров применяемых технологических схем на эффективность управления газовойделением на выемочных участках.

При проведении исследований выполнялся анализ данных шахтной многофункциональной газоаналитической системы «Микон 1Р», данных суточных отчетов о средних значениях параметров газовойделения и вентиляции, данные о фактическом газовойделении в выработки выемочных участков, данные об объемах и характеристиках дегазируемой вертикальными скважинами и отводимой изолированным отводом метановоздушной смеси [65, 66, 71, 72].

Для выемочного участка 52-10 предусматривалось применение (рисунок 2.1):

- 1) Дегазация выработанного пространства при помощи вертикальных скважин, пробуренных в купол обрушения горных пород с земной поверхности;
- 2) Дегазация изолированного отвода метановоздушной смеси из выработанного пространства лавы 52-10 через сбочные скважины диаметром 250 мм, откуда извлекаемая метановоздушная смесь по газопроводу диаметром 325 мм, проложенному по конвейерному штреку 52-11, соединенному отрезками перфорированных труб со сбочными скважинами вакуум-насосной станцией по скважине выдается на поверхность.

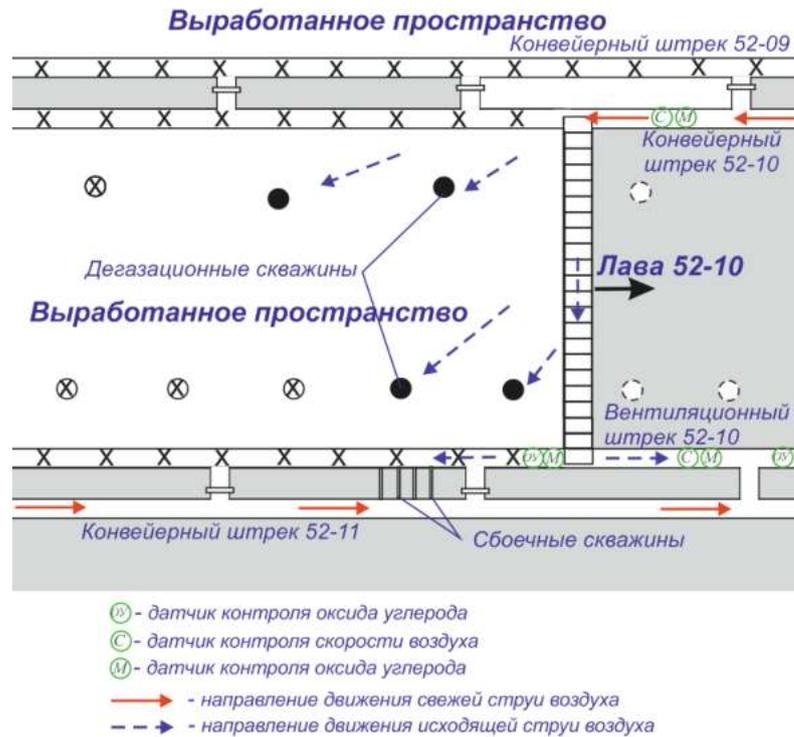


Рисунок 2.1 – Схема управления газовыделением на выемочном участке 52-10
(шахта «Котинская»)

Для анализа изменения газовой обстановки на выемочном участке в зависимости от интенсивности отработки запасов (нагрузки на очистной забой) и параметров применяемой схемы управления газовыделением выполнялся анализ как текущих (архивных) показаний данных системы АГК (несколько измерений в минуту), так и среднесуточных значений параметров, характеризующих газовую обстановку: концентрация метана, скорость воздуха, расход метановоздушной смеси.

2.2 Исследования влияния параметров применяемых технологических схем и интенсивности обработки на эффективность управления газовыделением

При исследованиях аэрогазодинамических процессов необходимо учесть основные горнотехнические факторы, способные оказать существенное влияние на газовую обстановку на выемочных участках. Учитывая значительное число влияющих горнотехнических факторов и разнообразие горно-геологических условий ведения горных работ при обработке пластов 52 и 50 Соколовского месторождения Кузбасса анализ шахтных данных проводится в тесной привязке к конкретным выемочным участком с учетом основных горнотехнических и горно-геологических особенностей их обработки.

На рисунке 2.2 представлена выкопировка из плана горных работ по пласту 52 шахты «Котинская» - сверху вниз: выемочные участки 52-07, 52-08, 52-09, 52-10, 52-13 соответственно.

Следует отметить, что рассматриваемые выемочные участки принципиально отличаются следующими параметрами технологических, оказывающими существенное влияние на газовую обстановку в их пределах:

Длина лавы выемочных участков 52-07, 52-09, 52-10, 52-13 (шахта «Котинская») изменяется по длине выемочного столба, что обусловлено необходимостью формирования вододренажной камеры и оставлением целика. Размер целика по длине выемочных столбов постепенно снижается и составляет от 400 м – при обработке выемочного участка 52-08, до 110 м – при обработке участка 52-10. Максимальная длина лавы разрабатываемых выемочных участков постоянно повышалась и составляла 230, 270, 280 и 300 м соответственно для выемочных участков 52-07, 52-08, 52-09, 52-10.

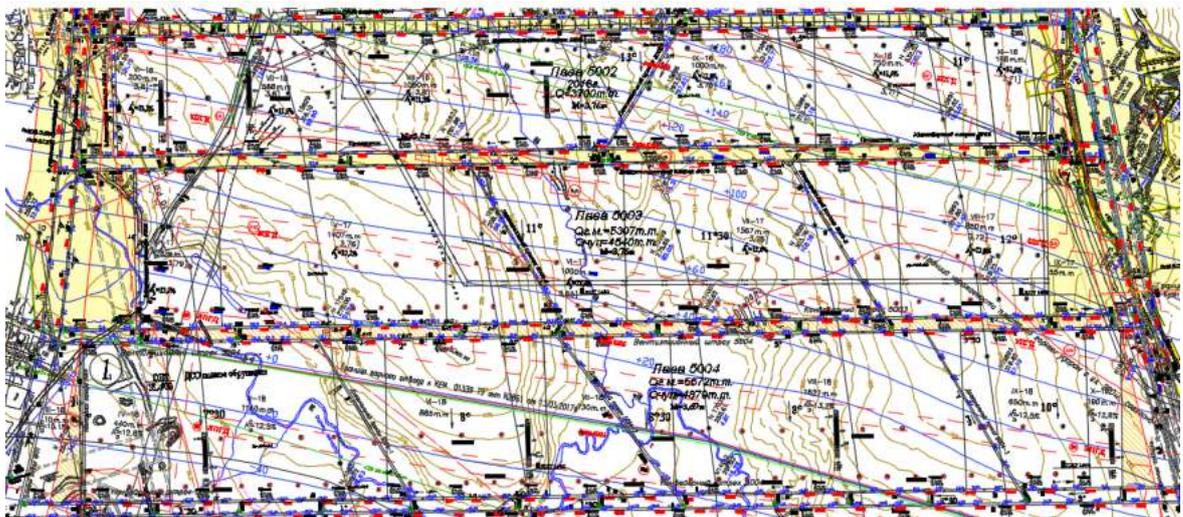
При обработке выемочных участков 52-07, 52-09, 52-11 (шахта «№7») длина лавы составляла соответственно: 245 м, 250 м и 290 м.

При обработке выемочных участков 50-02, 50-03, 50-04 на шахте «им.В.Д.Ялевского» длина лавы составляла: 290 м, 400 м, 400 м соответственно.

A)



Б)



В)

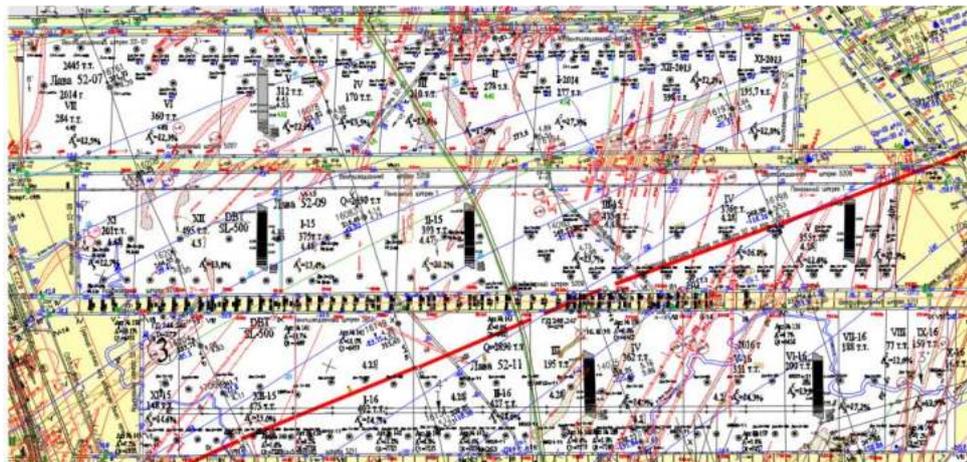


Рисунок 2.2 - Выкопировки из планов горных работ: А) пласт 52 шахта «Котинская»; Б) пласт 52 шахта «№7»; В) пласт 50 шахта «им.В.Д.Ялевского»

Также существенно отличаются схемы расположения дегазационных скважин по выемочным участкам и параметры дегазации выработанного

пространства. Параметры применяемых схем расположения дегазационных скважин подробно рассмотрены в параграфе 1.3.

Кроме того, отличаются применяемые схемы изолированного отвода метановоздушной смеси из выработанного пространства:

- сбоечные скважины, подключенные к дегазационному ставу, применялись при отработке выемочных участков 52-08, 52-09, 52-10 (шахта «Котинская»), 50-02 (шахта «им.В.Д.Ялевского»), 52-09, 52-11 (шахта «№7»);

- изолированный отвод на заднюю сбойку в смесительную камеру в комбинации со сбоечными скважинами применялся при отработке выемочного участка 52-13 на шахте «им.В.Д.Ялевского»;

- изолированный отвод на заднюю вентиляционную сбойку с использованием вентиляторов УВЦГ-9 и дегазационного става, заведенного за перемычку в задней вентиляционной сбойке, применялся при отработке выемочных участков 50-03 и 50-04 на шахте «им.В.Д.Ялевского».

В таблице 2.1 представлены сведения о газообильности и средних нагрузках на выемочные участки, обрабатываемые в поле шахты «Котинская» и «им.В.Д.Ялевского».

Таблица 2.1 – Характеристика газообильности при интенсивной отработке запасов выемочных участков

Выемочный участок	Длина лавы, м	Средняя нагрузка на очистной забой, т/сут	Средняя газообильность лавы, м ³ /мин	Средний объем метана, удаляемый вертикальными скважинами, м ³ /мин	Средний объем метана удаляемый изолированным отводом, м ³ /мин	Средняя газообильность выемочного участка, м ³ /мин	Максимальная газообильность выемочного участка, м ³ /мин
52-07	230	14988	6	50	-	56	127
52-08	270	10628	8,6	29,0	8,0	45,8	97,7
52-09	280	10218	13,3	81,6	5,8	100,7	203,41
52-10	300	10013	6,9	67	7	80,9	246,3
50-03	400	32245	9,4	46,5	5,5	61,4	118,2

На рисунках 2.3 и 2.4 представлены графики динамики газообильности выемочных участков и нагрузок на очистные забои при отработке мощных пластов 50 и 52 на шахтах «Котинская», «№7», «им.В.Д.Ялевского» в период с 2009 по 2018 гг. Как видно из рисунка 2.3 работа очистных забоев на шахте «Котинская» при отработке запасов пласта 52 характеризуется неустойчивой – нагрузки на очистные забои изменяются в значительных диапазонах, имеют место длительные простои высокопроизводительного очистного оборудования. Однако, детальный анализ показывает, что снижение нагрузок на очистные забои наблюдается по мере увеличения глубины ведения горных работ и одновременного роста длины очистных забоев.

Более стабильной работой отличается лава 52-09 на шахте «№7», что обусловлено более низкими нагрузками на очистной забой.

Интерес представляют данные о работе выемочного участка 50-03 на шахте «им.В.Д.Ялевского», характеризуемого рекордной интенсивностью отработки запасов – до 55 000 т/сут и рекордными для России значениями длины лавы – 400 м (рисунок 2.4). Как видно из рисунка 2.4 отработка пласта 50 осуществляется в условиях, когда суммарная газообильность (объемы извлекаемого метана средствами вентиляции, дегазации и изолированного отвода) не превышают 120 м³/мин, что объясняется малой глубиной (до 250 м) ведения горных работ.

Для рассматриваемых условий Соколовского месторождения такой уровень газообильности соответствует отработке пласта 52 на выемочном участке 52-07 с нагрузками на лаву длиной 220 м до 30 000 т/сут при ведении горных работ на глубине до 300 м.

Анализ работы очистных забоев на шахте «Котинская» позволяет сделать вывод о постепенном снижении интенсивности очистных работ по мере увеличения глубины и роста газообильности выемочных участков, что объясняется появлением газового барьера, не позволяющего не только наращивать, но и сохранить нагрузки на очистной забой на достигнутом уровне.

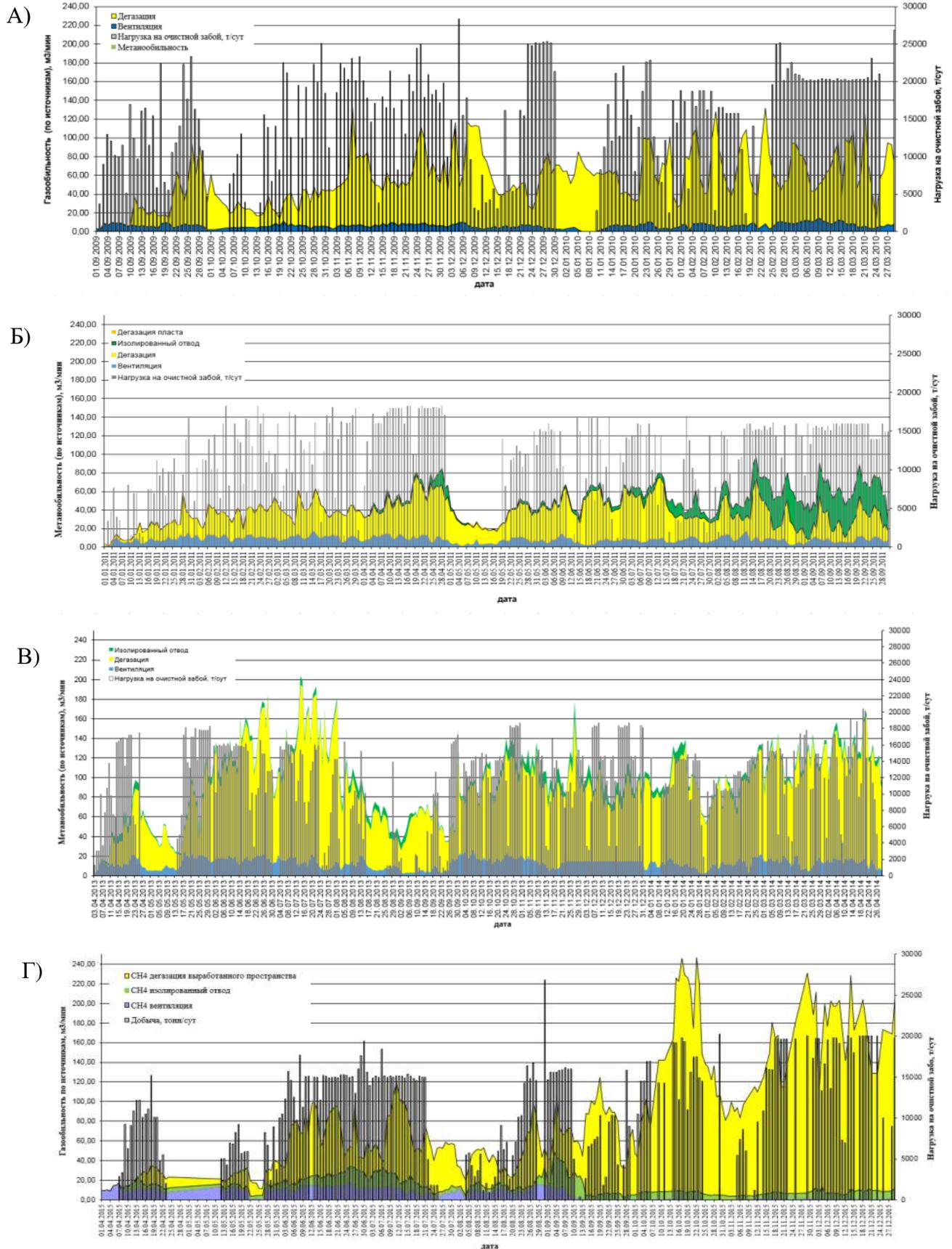


Рисунок 2.3 – Взаимосвязь интенсивности отработка запасов и газообильности выемочных участков шахты «Котинская»: А) 52-07; Б) 52-08; В) 52-09; Г) 52-10

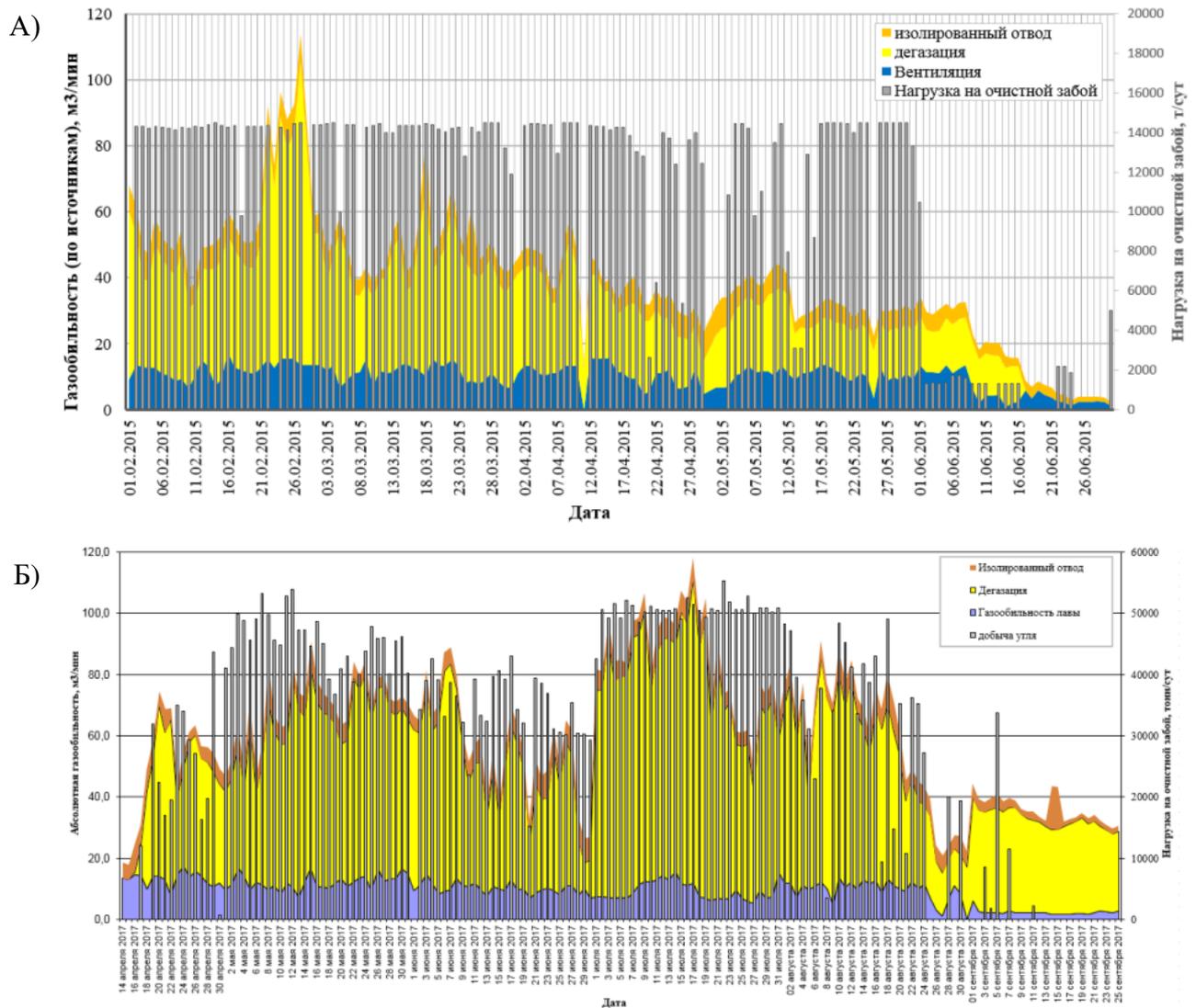


Рисунок 2.4 – Взаимосвязь интенсивности отработка запасов и газообильности выемочных участков: А) 52-09 шахта «№7»; Б) 50-03 шахта «им.В.Д.Ялевского»

На рисунках 2.5-2.6 представлены результаты анализа взаимосвязи интенсивности работы и газообильности лав. Как видно из рисунка 2.5 по мере увеличения глубины ведения горных работ и роста природной газоносности наблюдается закономерное увеличение газообильности лав. Вместе с тем наибольшей газообильностью характеризуется работа лавы 52-09.

Обобщение представленных на рисунках 2.5 и 2.6 данных позволило установить зависимости газообильности лав от интенсивности их работы при отработке запасов Соколовского месторождения (рисунок 2.7).

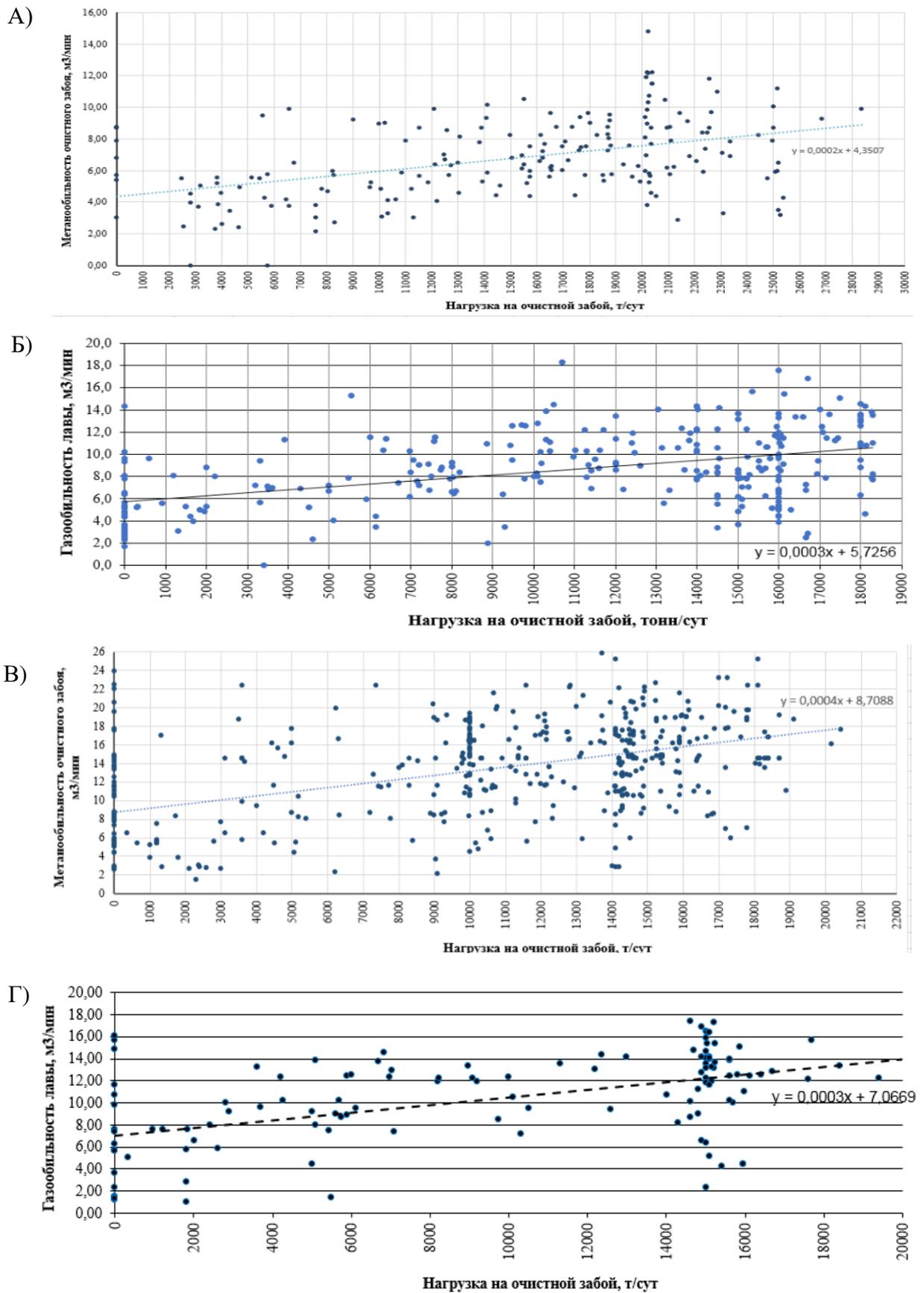


Рисунок 2.5 – Взаимосвязь интенсивности отработка запасов и газообильности лавы при отработке выемочных участков шахты «Котинская»: А) 52-07; Б) 52-08; В) 52-09; Г) 52-10

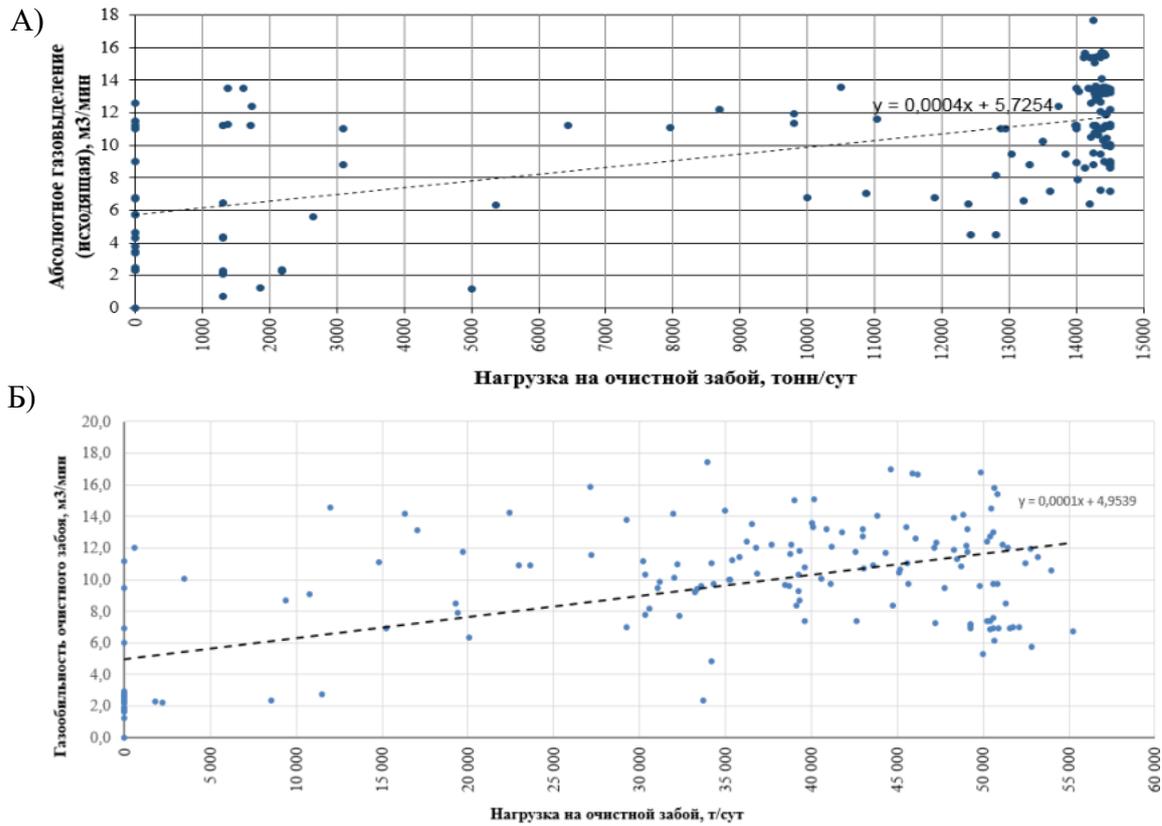


Рисунок 2.6 – Взаимосвязь интенсивности отработки запасов и газообильности лавы при отработке выемочных участков: А) 52-09 шахта «№7»; Б) 50-03 шахта «им.В.Д.Ялевского»

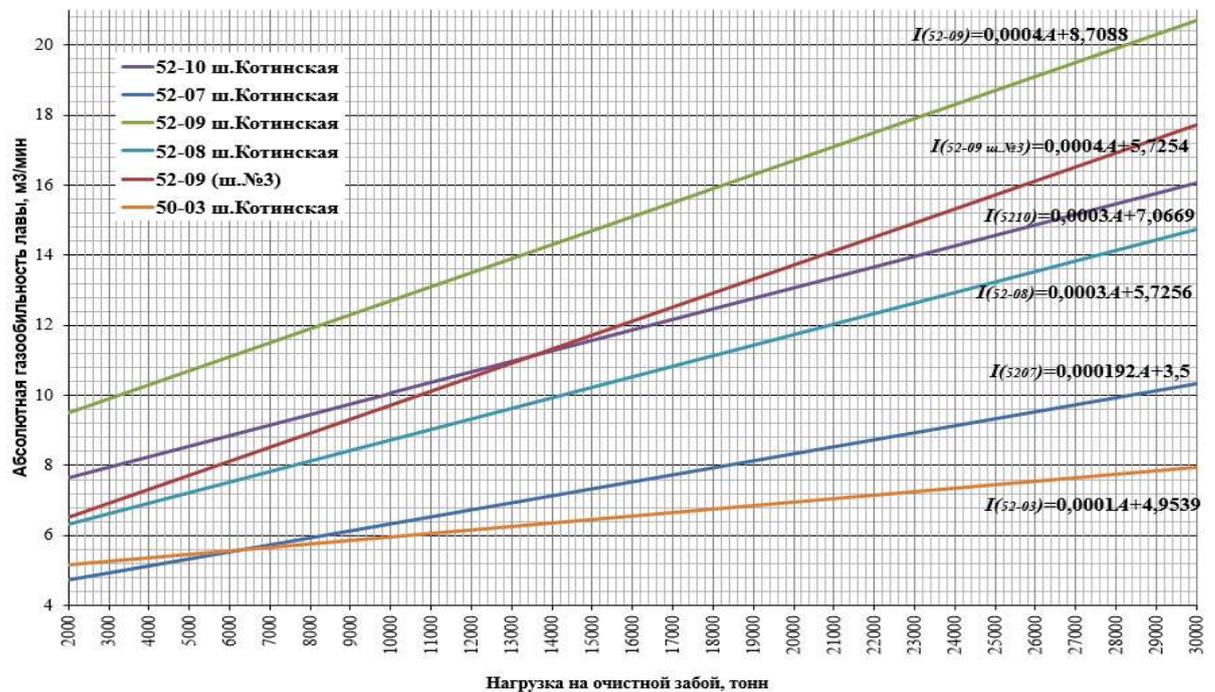


Рисунок 2.7 – Взаимосвязь интенсивности отработки запасов и газообильности лавы при отработке мощных пластов Соколовского месторождения

Из рисунка 2.7 можно сделать вывод о том, что в пределах шахтных полей шахт «Котинская», «№7» и «им.В.Д.Ялевского» закономерности изменения

газообильности выемочных участков отличаются. Наибольшей скоростью роста газообильности лав характеризуется отработка выемочных участков по пласту 52 на шахте «№7», что и объясняет ограничения нагрузки на рассматриваемые очистные забои на уровне 15 000 т/сут. Наименьшей скоростью роста газообильности характеризуется отработка пласта 50 на шахте «им.В.Д.Ялевского», что объясняется работой в зоне надработки, которая обеспечила снижение газообильности подрабатываемого массива и позволила достичь рекордных нагрузок на очистные забои. Оработка пласта 52 характеризуется средними темпами нарастания газообильности по мере увеличения нагрузок на очистные забои, что позволяет обеспечить интенсивность отработке запасов на уровне 5-6 млн тонн в год.

Детальный анализ взаимосвязи интенсивности отработки запасов на шахте «Котинская» позволил выявить наличие ограничений интенсивности отработки запасов по газовому фактору, которые становились более выраженными по мере отработки выемочных участков и привели к необходимости ограничения нагрузок на очистные забои. На рисунке 2.8 представлены графики, отражающие взаимосвязь средних и максимальных значений концентрации метана и интенсивности работы лавы 52-10 в условиях шахты «Котинская». Из рисунка 2.8 видно, что в рассматриваемых условиях предельная по газовому фактору нагрузка на очистной забой составляет 15 000 т/сут. Одной из основных причин наряду с ростом природной газоносности разрабатываемого пласта и газообильности лавы является низкая эффективность применяемой схемы изолированного отвода метановоздушной смеси с использованием сбоечных скважин (рисунок 2.1), поскольку применяемые дегазационные установки обеспечивали расходы метановоздушной смеси в объеме 80-160 м³/мин.

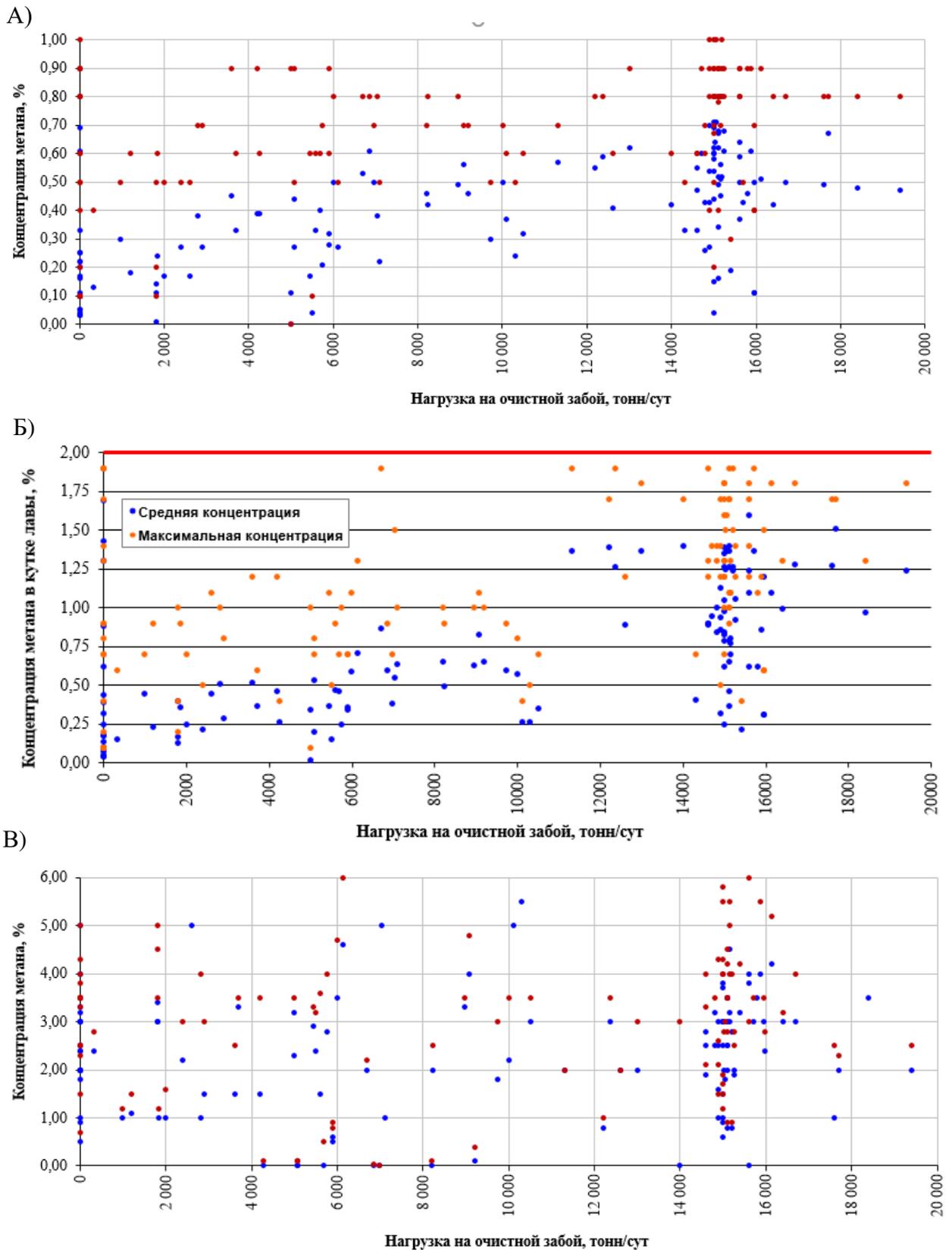


Рисунок 2.8 – Взаимосвязь интенсивности отработки запасов и концентрации метана при интенсивной отработке выемочного столба 52-10 ш. «Котинская»: А) исходящая из лавы; Б) «куток»; В) газоотсасывающий трубопровод

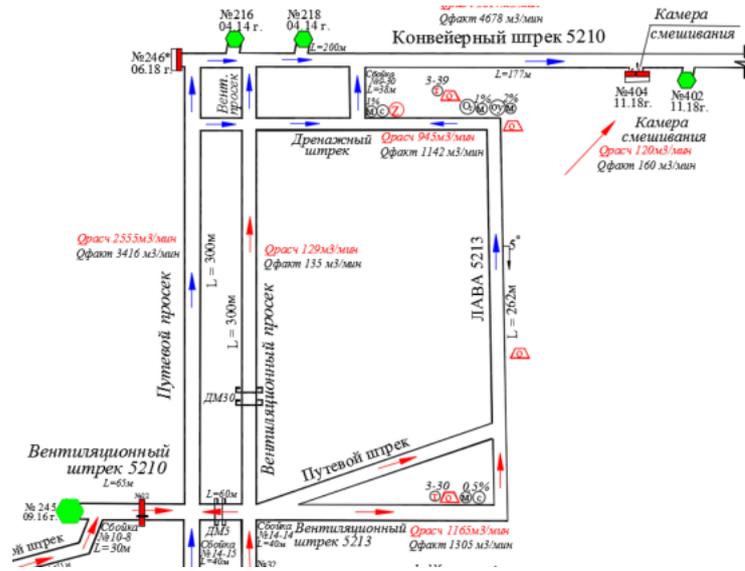
Из рисунка 2.8, В видно, что концентрация метана в дегазационном ставе при изолированном отводе превышает 3,5% даже при незначительных нагрузках на очистной забой, что требует применения специальных мер для обеспечения безопасной отработки запасов. Исчерпание возможностей изолированного отвода сбоечной дегазации предопределило необходимость применения других способов изолированного отвода метановоздушной смеси (рисунок 2.9):

- Изолированный отвод через заднюю сбойку в камеру смешивания (рисунок 2.9,А). Способ реализован при отработке запасов выемочного участка 52-13 по пласту 52 на шахте «им.В.Д.Ялевского» в 2017-2018 гг.

- Изолированный отвод метановоздушной смеси с использованием двух вентиляторов УВЦГ-9 и дегазационных ставов, заведенных за перемычку в задней вентиляционной сбойке (рисунок 2.9,Б). Способ реализован при отработке запасов выемочных участков 50-03 и 50-04 по пласту 50 на шахте «им.В.Д.Ялевского» в 2017-2018 гг.

Применение таких схем управления газовойделением обеспечило снижение затрат на бурение (за счет отказа от сбоечных скважин), но обусловило необходимость определения рационального расстояния между вентиляционными сбоями, поскольку применяемые на шахтах «Котинская», «№7», и «В.Д.Ялевского» схемы подготовки, предусматривающие проведение сбоек на расстоянии 270-430 м не обеспечивали надежного эффективного изолированного отвода метановоздушной струи по погашаемой части вентиляционной выработки, поскольку по мере отхода лавы от вентиляционной сбойки на расстояние 200 м и более учащались случаи резкого повышения сопротивления погашаемой части выработки вследствие обрушения кровли и перекрытия ее сечения, а так же возрастала концентрация метана в газоотсасывающем трубопроводе из-за существенного отставания смесительной камеры от работающих дегазационных скважин.

А)



Б)

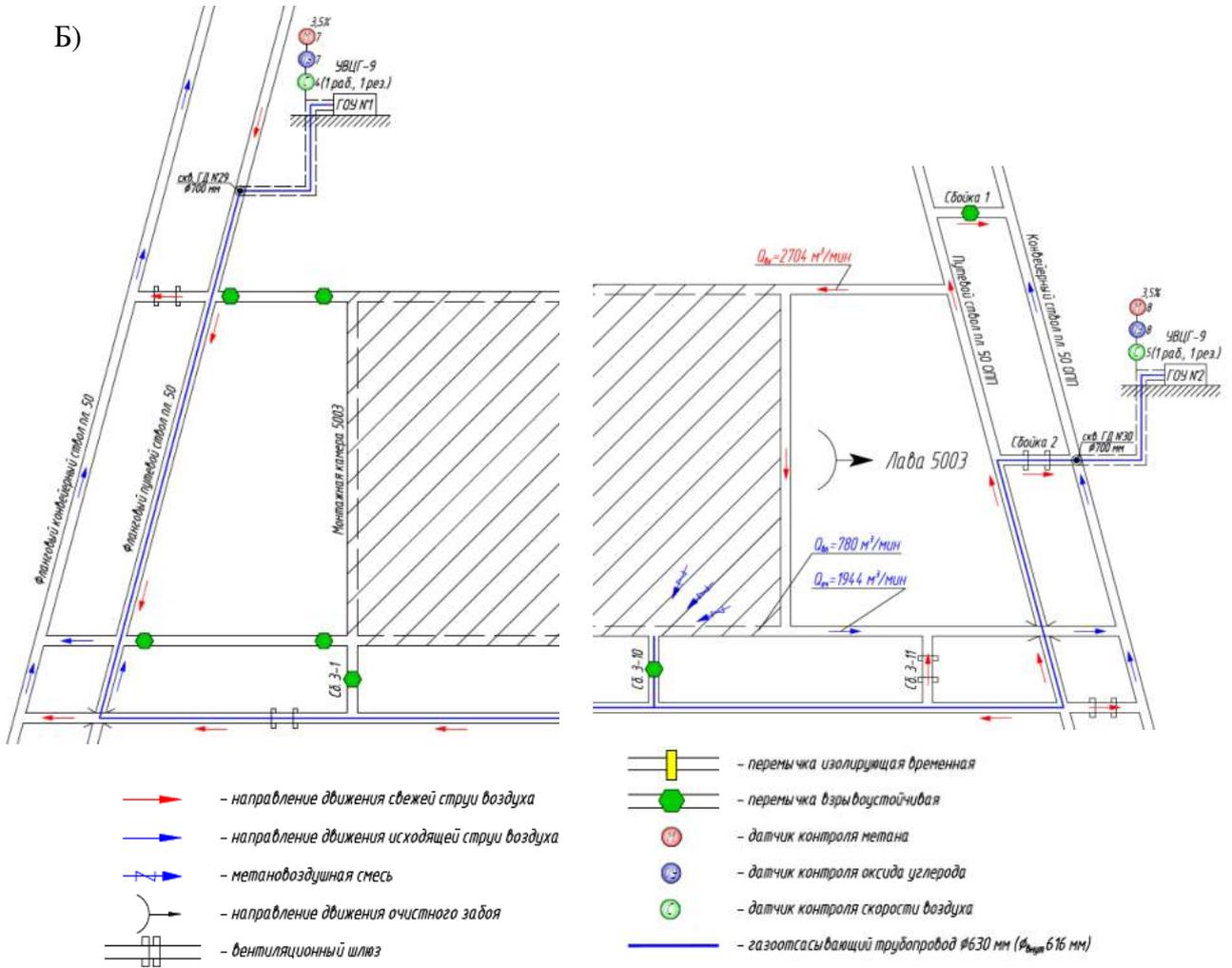


Рисунок 2.9 – Схемы проветривания: А) лавы 52-13 с использованием смесительной камеры; Б) лавы 50-03 с использованием вентиляторов УВЦГ-9

Анализ эффективности управления газовой выделением позволил в качестве основных недостатков схемы газоподготовки с использованием смесительной камеры следует указать:

- необходимость подачи значительных объемов воздуха (более 2000 м³/мин) для разбавления выдаваемой в камеру метановоздушной смеси до 2% (на ее выходе);

- сложность обеспечения устойчивого расхода метановоздушной смеси, поступающей в смесительную камеру по мере продвижения лавы и изменения аэродинамического сопротивления погашаемой части вентиляционной выработки (необходимость постоянной регулировки);

- повышенная опасность загазования выработки в которой установлена камера смешивания.

Применение вентиляторов УВЦГ-9 для изолированного отвода метановоздушной смеси позволяет обеспечить расход до 600-700 м³/мин при одновременной работе двух вентиляторов и использовании двух дегазационных скважин и до 1400 м³/мин при использовании в одновременной работе четырех вентиляторов на двух дегазационных скважинах. Особенностью данного способа является необходимость бурения вертикальных дегазационных скважин большого диаметра 700 мм. Кроме того, анализ эффективности изолированного отвода при применении вентиляторов УВЦГ-9 показал, что по мере отхода лавы от задней сбойки концентрация и объемы удаляемого изолированным отводом метана увеличиваются (рисунок 2.10).

На рисунке 2.11 представлены зависимости изменения объемов метана, удаляемого изолированным отводом от расстояния между лавой и задней сбойкой.

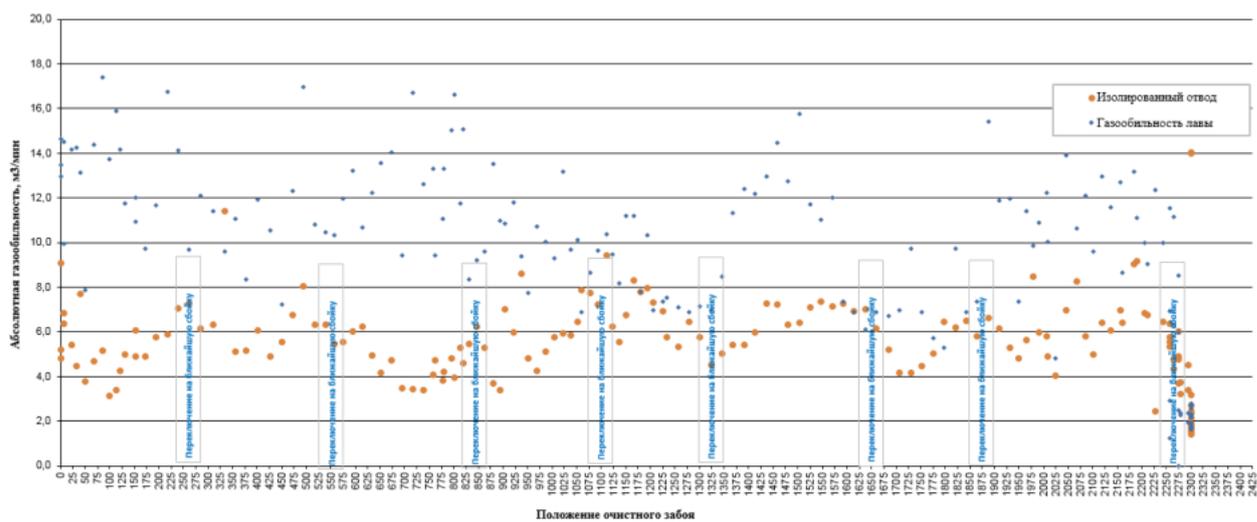
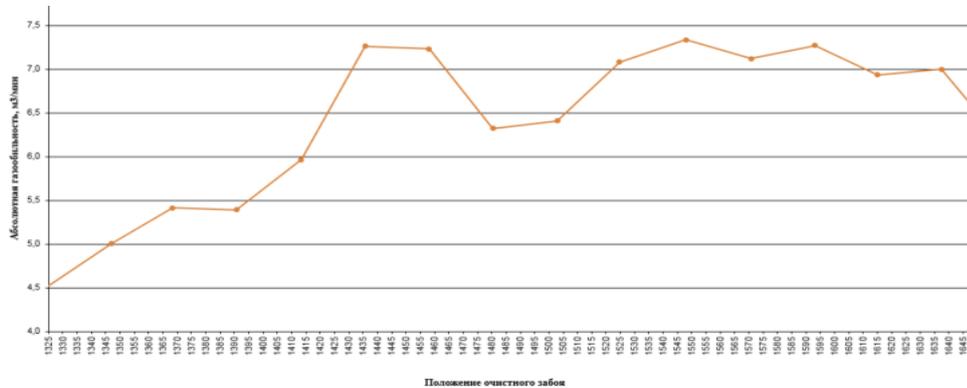


Рисунок 2.10 – Изменение объемов газа, удаляемого изолированным отводом, по мере подвигания очистного забоя и переключения изолированного отвода на следующую сбойку

А)



Б)

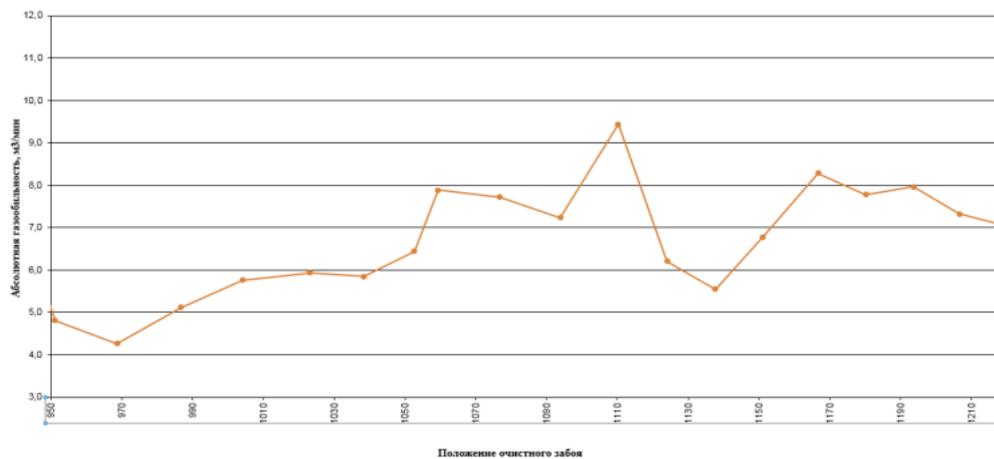


Рисунок 2.11 – Изменение объемов метана удаляемых изолированным отводом по мере увеличения расстояния от лавы до задней сбойки

2.3 Исследования влияния параметров применяемых схем дегазации выработанного пространства на эффективность управления газовыделением

Для оценки влияния параметров схемы дегазации выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности, был выполнен детальный анализ эффективности управления газовыделением для выемочных участков с различными схемами расположения дегазационных скважин.

Минимальный объем бурения дегазационных скважин характерен для схем дегазации с одним рядом дегазационных скважин. Такой вариант дегазации выработанного пространства применялся на шахте «Котинская» в 2010 году при отработке выемочного участка 52-07. При работе лавы 52-07, длина которой составляла 220 м, с опережением очистных работ бурился один ряд дегазационных скважин (на расстоянии 75 м от конвейерного штрека) расстояние между скважинами в котором составляло 80 м (рисунок 2.12).

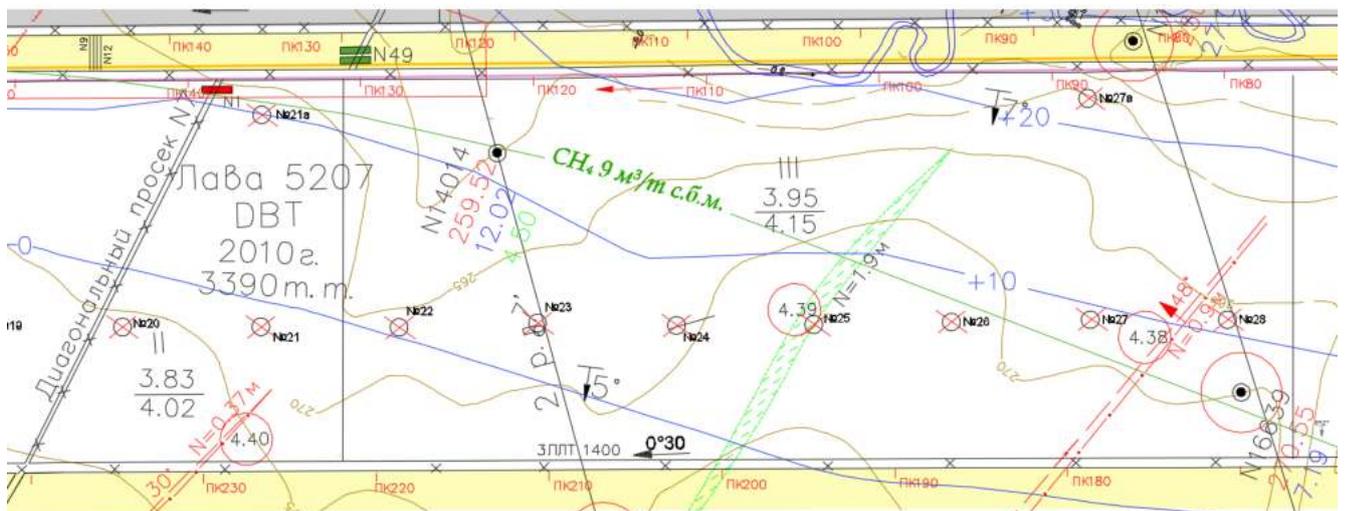


Рисунок 2.12 – Выкопировка из плана горных работ на участке 52-07 (пласт 52 шахта «Котинская», 2010 г.) с расположением дегазационных скважин

На рисунке 2.12 представлен график, отражающий динамику извлечения метана вертикальными дегазационными скважинами в период работы лавы 52-07. Как видно из рисунка 2.13 пиковые значения объемов удаляемого скважинами метана достигали $127 \text{ м}^3/\text{мин}$ при средних значениях $48 \text{ м}^3/\text{мин}$.

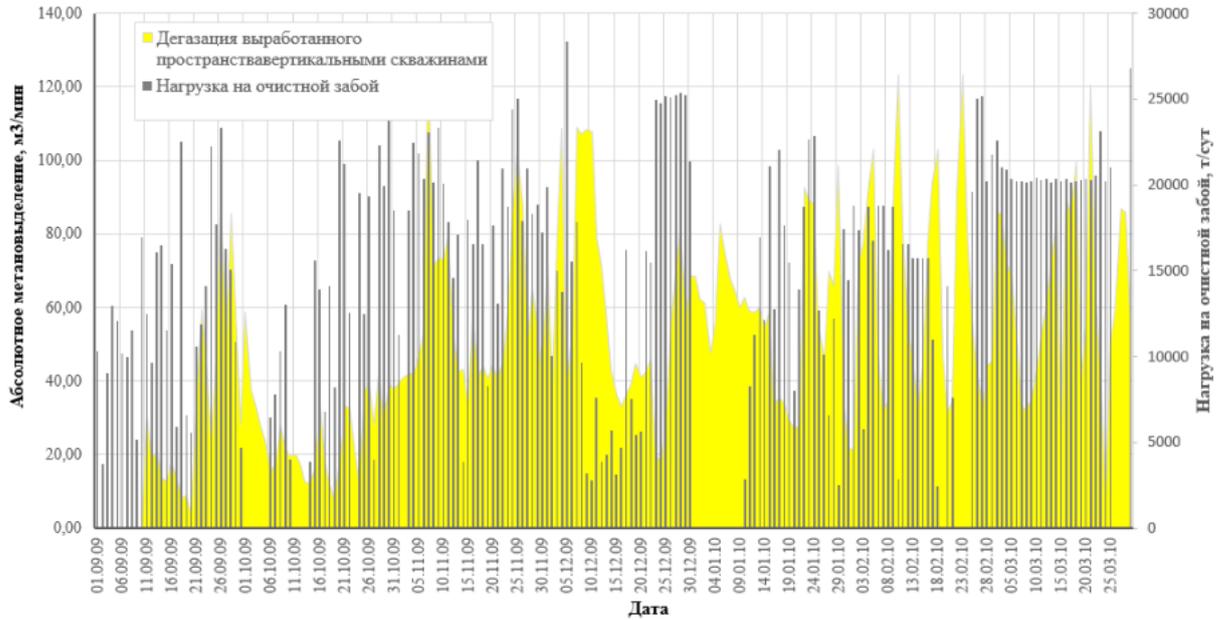


Рисунок 2.13 – Взаимосвязь объемов удаляемого метана и нагрузки на очистной забой

При этом концентрация метана в дегазационных скважинах достигала 85% при средних значениях 24% (рисунок 2.14). Низкие значения концентрации метана в дегазационных скважинах, по нашему мнению, обусловлены их значительном расстоянии (75 м) от вентиляционной выработки. Более рациональным расположением выработок являлось бы их смещение на расстояние порядка 30 м от вентиляционной выработки.

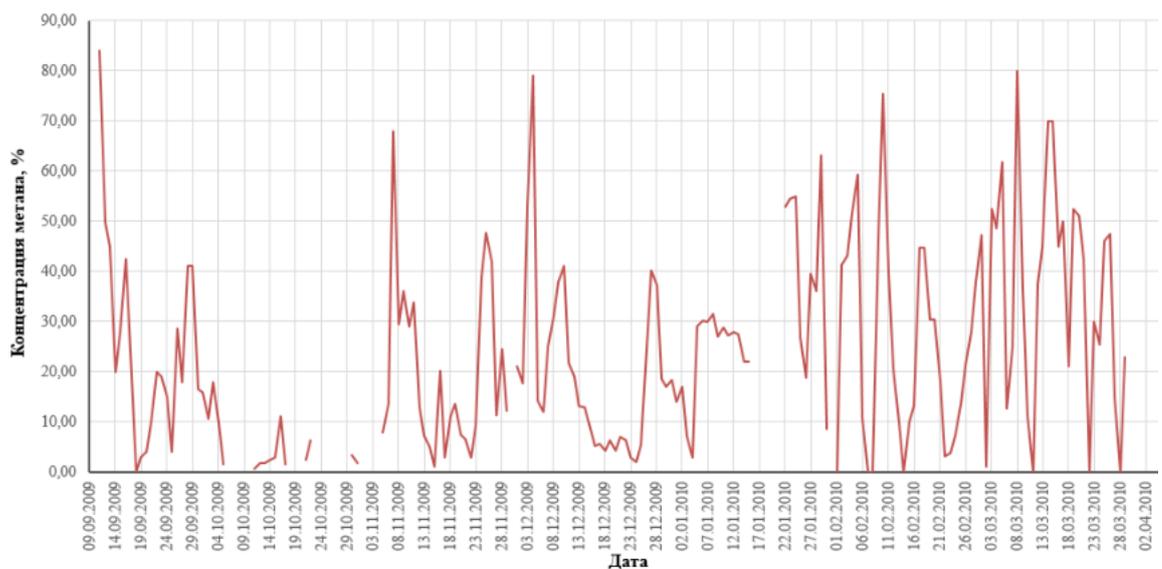


Рисунок 2.14 – Динамика концентрации метана в удаляемой из выработанного пространства метановоздушной смеси (выемочный участок 52-07)

высокими концентрациями метана, однако наибольшие концентрации наблюдаются при работе основного ряда скважин. Также следует отметить, что суммарная эффективность работы рядов скважин А и Б может считаться условно постоянной, поскольку увеличение концентрации метана в ряду А приводит к ее снижению в ряду Б и наоборот. Эта взаимосвязь обусловлена наличием зоны интенсивного газовыделения в выработанном пространстве на некотором расстоянии от лавы, в результате чего скважины в пределах данной зоны характеризуются высокой концентрацией метана, а за ее пределами – низкими. Чередование скважин рядов А и Б приводит к попеременному выходу из зоны (по мере подвигания лавы) той или иной скважины в соответствующем ряду.

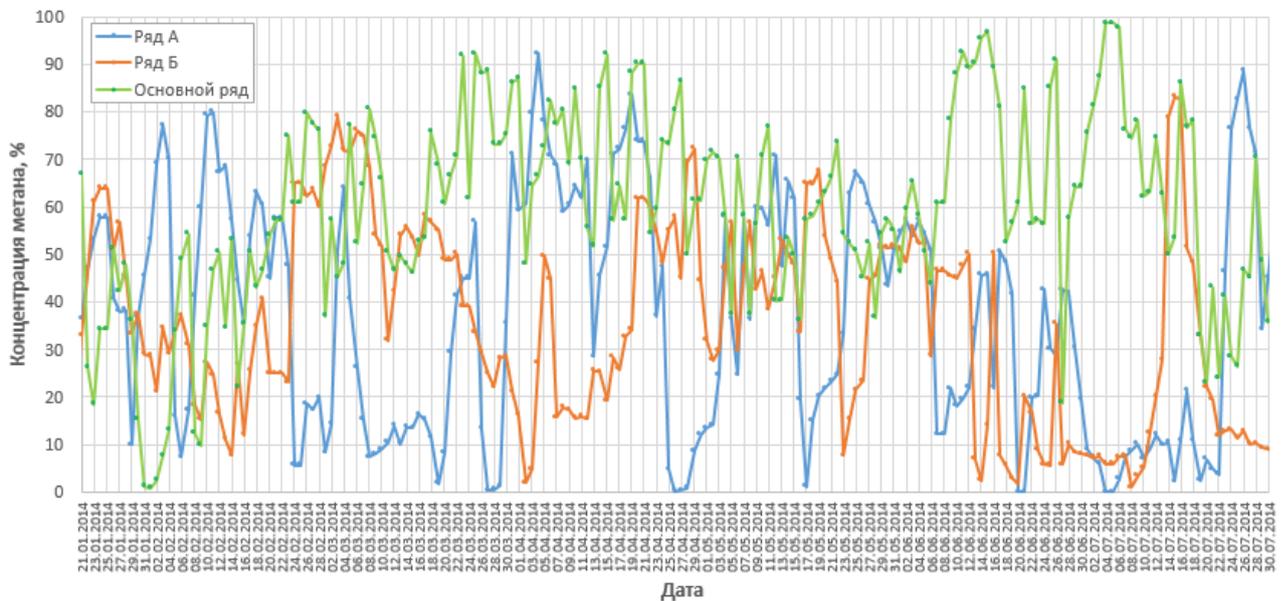


Рисунок 2.16 – Динамика концентрации метана в удаляемой из выработанного пространства метановоздушной смеси (выемочный участок 52-09)

Анализ графиков, представленных на рисунке 2.16 позволяет сделать вывод о том, что основные объемы метана (более 50% всего газовыделения в выработанном пространстве) приходится на работу основного ряда скважин у вентиляционной выработки (конвейерного штрека 52-09).

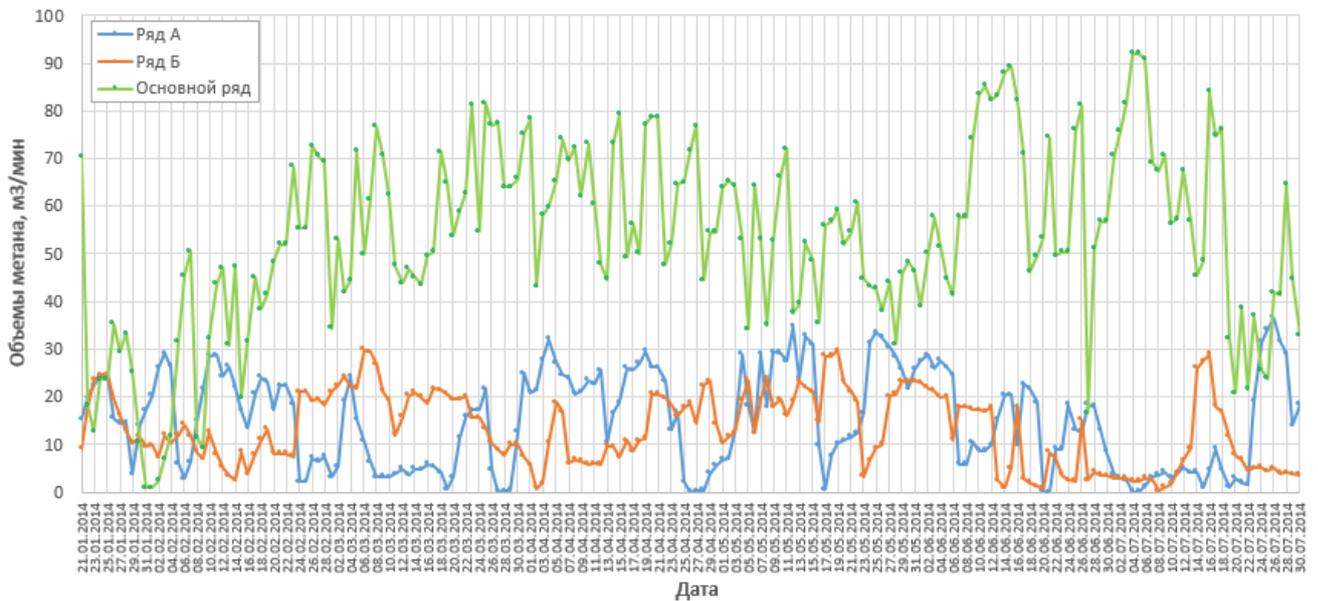


Рисунок 2.17 – Динамика объемов удаляемого из выработанного пространства метана с использованием вертикальных дегазационных скважин (выемочный участок 52-09)

Рассмотренные графики (рисунок 2.16 и 2.17) позволяют сделать вывод, что работа рядов скважин А и Б является взаимоисключающей и с учетом незначительных расходов метановоздушной смеси в скважинах этих рядов можно рекомендовать отказаться от ряда А, работа которого характеризуется наименьшей эффективностью.

Аналогичный вариант дегазации представлен на рисунке 2.18. В отличие от рассмотренного варианта (рисунок 2.14) данный вариант предусматривает бурение двух рядов дегазационных скважин (рисунок 2.17): основной ряд – на расстоянии от вентиляционного штрека 52-10 (вентиляционная выработка) около 30-40 м с расстоянием между скважинами 50 м; дополнительный ряд – на расстоянии 20-30 м от конвейерного штрека 52-10 (воздухоподающая выработка) с расстоянием между скважинами порядка 70-80 м. Таким образом при отказе от третьего ряда скважин расстояние между скважинами во втором ряду существенно сокращается.

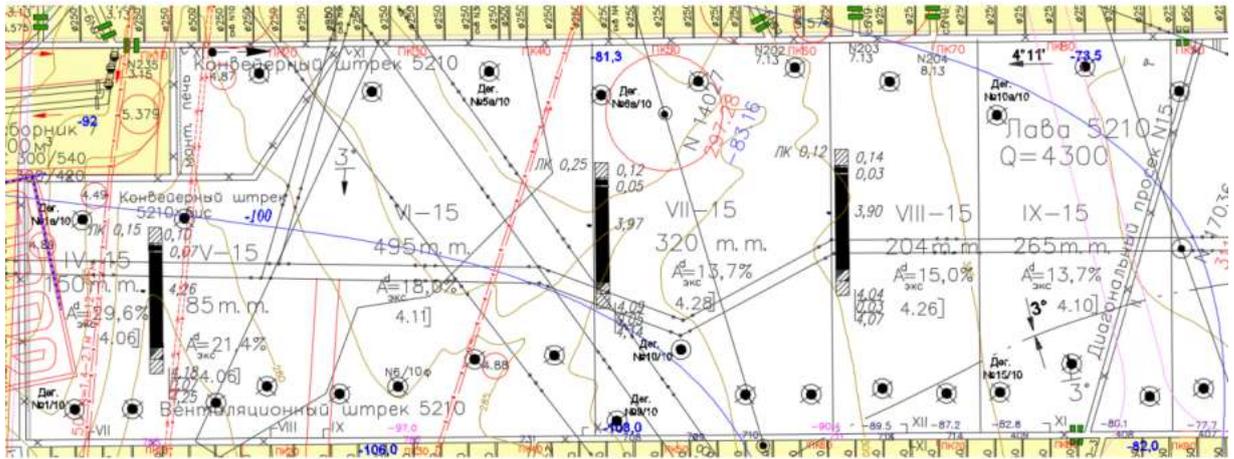


Рисунок 2.18 – Выкопировка из плана горных работ на участке 52-10 (пласт 52 шахта «Котинская», 2015 г.) с расположением дегазационных скважин

Сделанный вывод о низкой эффективности работы дегазационных скважин, располагаемых в ряду у воздухоподающей выработки позволил рекомендовать смещение данного ряда скважин к центру и далее от центра в сторону ряда скважин у вентиляционной выработки. В 2017-2018 годах на шахте «им.В.Д.Ялевского» по такой схеме осуществлялось бурение скважин на выемочном участке 52-13 (рисунок 2.19). Как видно из рисунка при работе лавы 52-13 длина которой составляла 262 м осуществлялось бурение двух рядов скважин: основного ряда - на расстоянии порядка 35 м от вентиляционной выработки с расстоянием между скважинами 40 м и вспомогательного ряда (А) на расстоянии от вентиляционной выработки порядка 120 м с расстоянием между скважинами 70 м. В каждом ряду в одновременной работе находилось по две скважины, подключенные к поверхностной дегазационной установке с номинальным расходом $150 \text{ м}^3/\text{мин}$ (фактический расход метановоздушной смеси по скважине составлял $70\text{-}90 \text{ м}^3/\text{мин}$).



Рисунок 2.19 – Выкопировка из плана горных работ на участке 52-13 (пласт 52 шахта «им.В.Д.Ялевского, 2018 г.) с расположением дегазационных скважин

Анализ эффективности работы ПДУ при отработке запасов участка 52-13 позволил построить графики (рисунки 2.20 и 2.21) изменения концентрации метана и изменения объемов удаляемого метана при рассматриваемой схеме расположения дегазационных скважин (рисунок 2.18).

Как видно из рисунков 2.20 и 2.21 работа основного ряда дегазационных скважин характеризуется большей эффективностью, в следствие чего объемы удаляемого метана по основным скважинам превышают на 10-20% объемы метана по вспомогательному ряду скважин. Вместе с тем величина отклонения является незначительной и ожидаемой с учетом относительно более близкого расположения скважин вспомогательного ряда к воздухоподающей выработке.

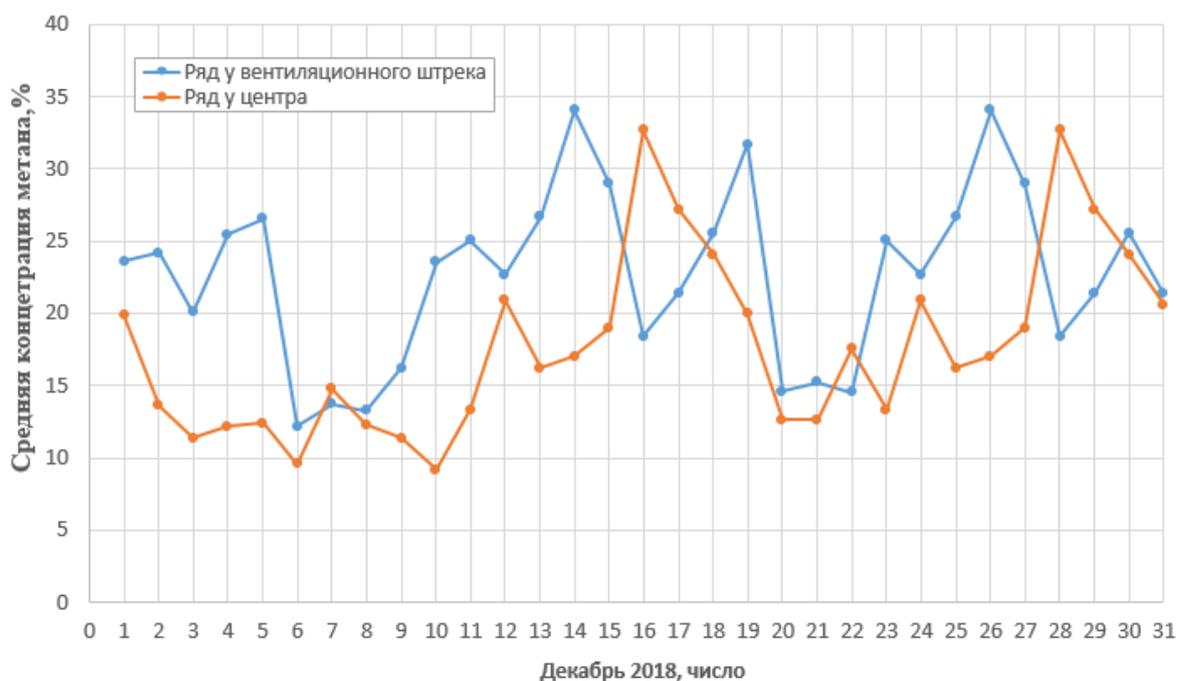


Рисунок 2.20 – Динамика концентрации метана в удаляемой из выработанного пространства метановоздушной смеси (выемочный участок 52-13)

Вместе с тем относительно невысокие концентрации (от 2 до 35% при средних значениях 20%) и объемы метана (от 30 до 80 м³/мин при среднем значении 56 м³/мин, удаляемого из выработанного пространства дегазационными скважинами, позволяют сделать вывод о возможности снижения числа дегазационных скважин во вспомогательном ряду или полном отказе от их применения.

Анализ эффективности работы дегазационных скважин при интенсивной отработке пласта 50 на шахте им.В.Д.Ялевского (2017 г.) очистным забоем длиной 400 м при нагрузках на лаву порядка 50 000 т/сут позволил сделать вывод, что параметры применяемой схемы расположения дегазационных скважин (рисунок 2.22) также обладает высоким нереализуемым резервом, поскольку концентрация метана скважин дополнительного ряда, смещенного от вентиляционной выработки на 140 м в течение жизненного цикла скважин, как правило, составляет в среднем 20-25% при максимальных значениях порядка 40%. В тоже время основной ряд скважин ряд скважин, как правило, выдает

метановоздушную смесь со средней концентрацией метана 30-40% при максимальных значениях до 65%.

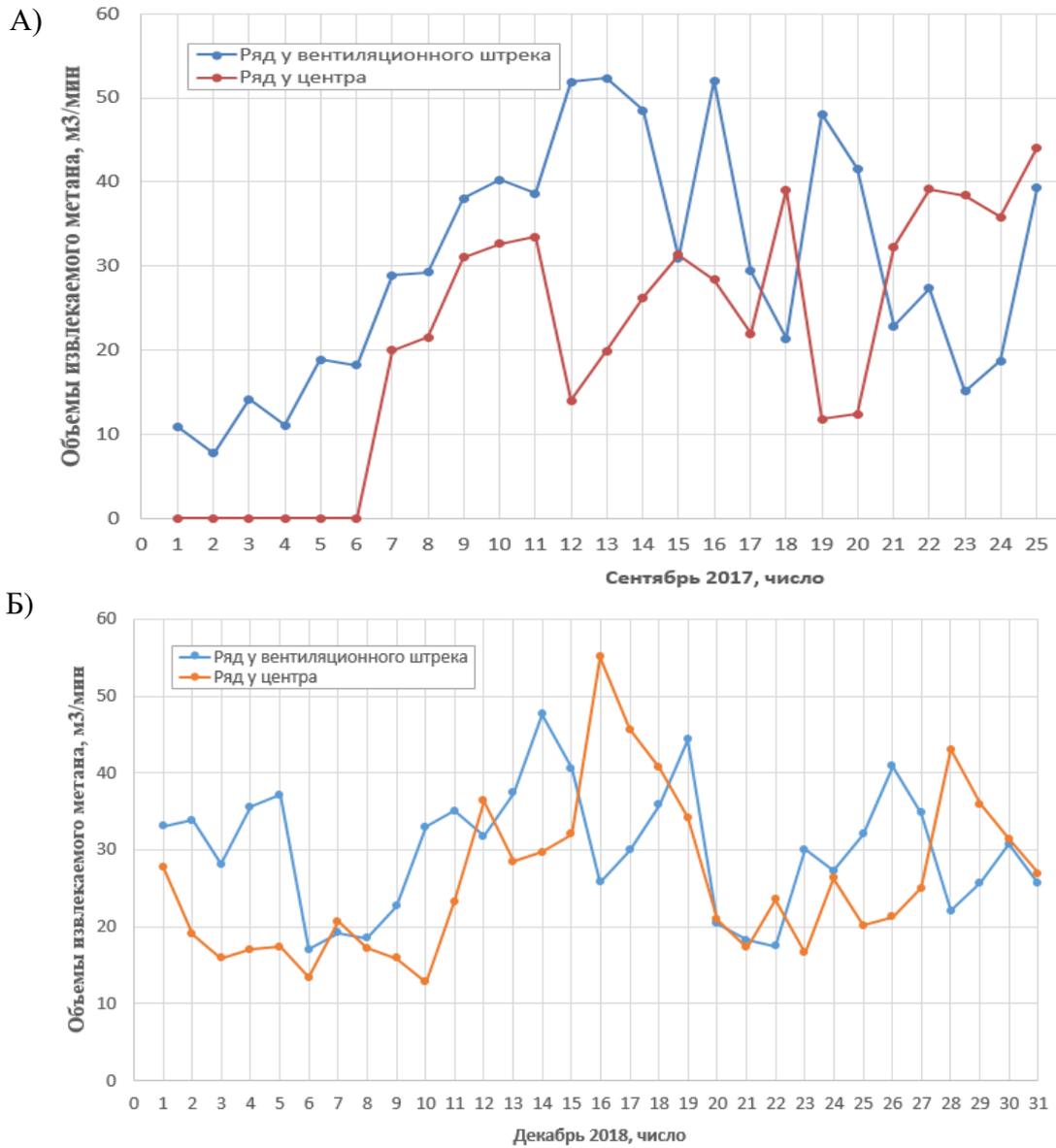


Рисунок 2.21 – Динамика объемов удаляемого из выработанного пространства метана (выемочный участок 52-13)

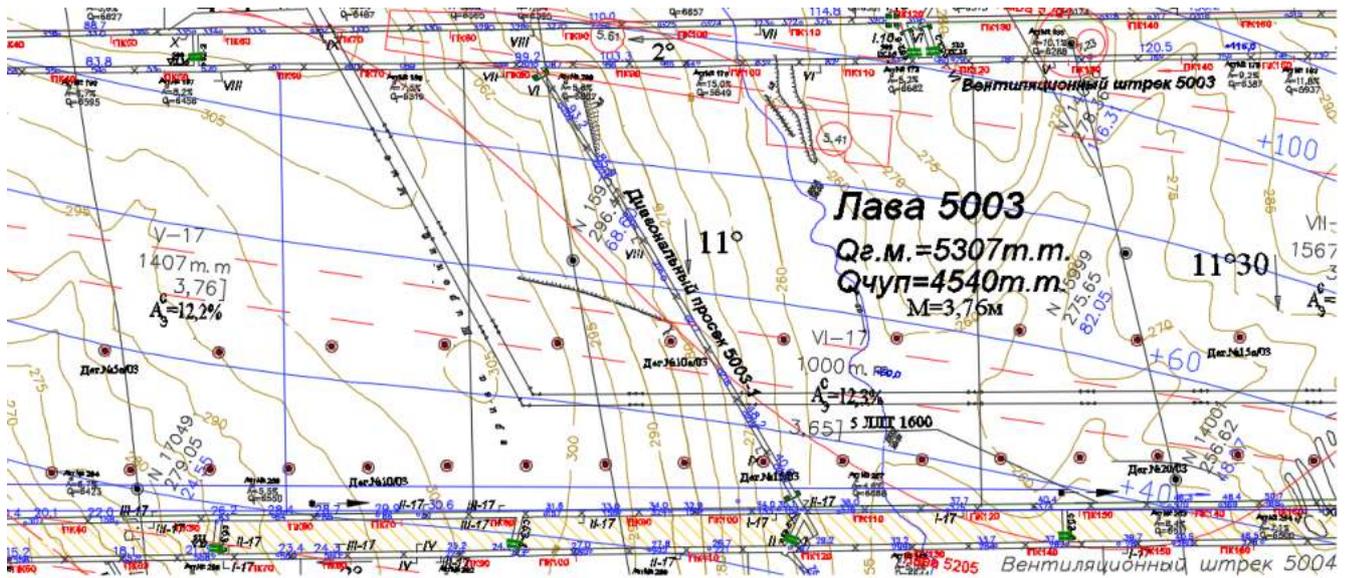


Рисунок 2.22 – Выкопировка из плана горных работ по пласту 50 (выемочный участок 50-03) шахта «им.В.Д.Ялевского»

Динамика изменения концентрации метана в течение характерного жизненного цикла скважин соответствующего ряда представлена на рисунке 2.23.

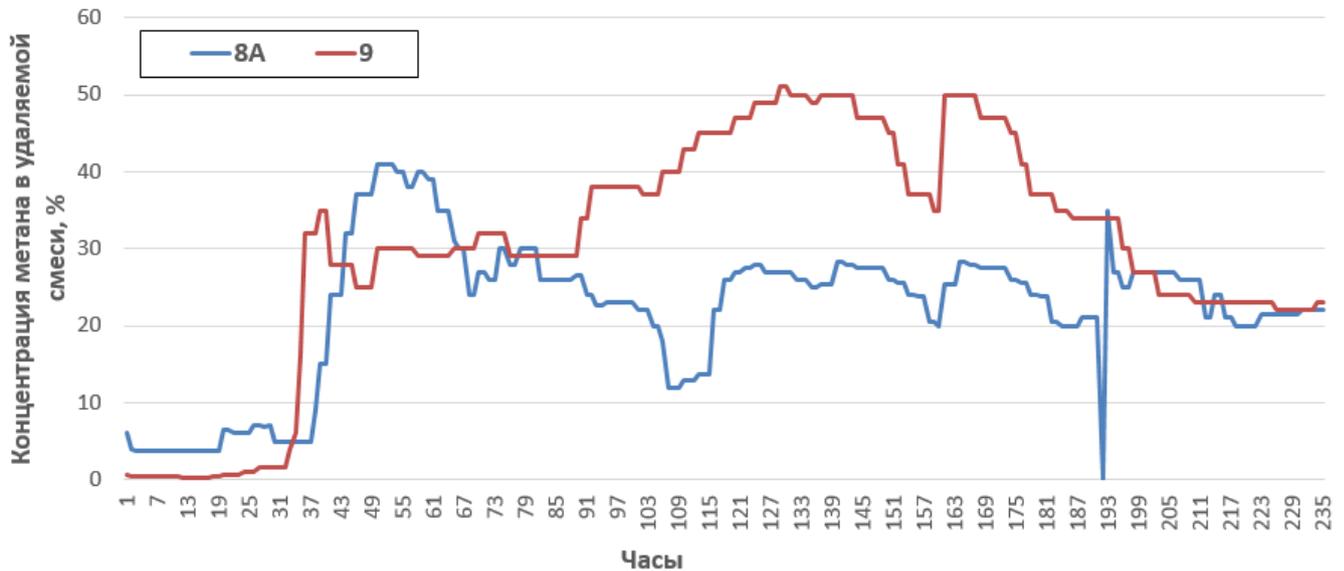


Рисунок 2.23 – Динамика концентрации метана в течение жизненного цикла скважин (выемочный участок 50-03, шахта «им.В.Д.Ялевского»)

Таким образом, выполненные шахтные исследования подтвердили наличие значительного избыточного резерва в работе дегазационных скважин и низкую эффективность работы скважин дополнительного ряда, а также возможность и целесообразность применения схемы дегазации выработанного пространства

скважинами, пробуренными с земной поверхности, с расположением скважин в один ряд вдоль вентиляционной выработки в условиях газообильности выработанных пространств до 90-100 м³/мин.

2.4 Оценка влияния геологической нарушенности на метанообильность выемочных участков

Вопросы управления газовыделением в зонах геологических нарушений требуют тщательного рассмотрения и изучения, вследствие своей важности и сложности решения.

В качестве характерного примера работы в зоне влияния геологических нарушений рассмотрим участок выемочного столба 52-10, представленный на рисунке 2.24, характеризуемый наличием нескольких разрывных нарушений с амплитудой 0,9-2,0 м. Сложность управления газовыделением на данном участке обусловлена не только повышенной газообильностью массива, вызванной резким повышением газопроницаемости углепородного массива в зонах влияния геологических нарушений, но и снижением деформационно-прочностных характеристик массива, предопределяющим высокую аварийность работы дегазационных скважин.

График изменения газообильности, представленный на рисунке 2.25, наглядно демонстрирует резкое существенное увеличение (в 2 раза и более) газообильности выемочного участка в зоне геологических нарушений.

На рисунке 2.26 представлена выкопировка из плана горных работ по пласту 52 (шахта «Котинская»), на которой представлен участок выемочного столба 52-07, характеризуемый наличием целого ряда геологических нарушений с амплитудой 0,75-1,5 м. Данные о газообильности выемочного участка в период отработки участка с нарушениями (декабрь 2009-январь 2010 года) представлены на рисунке 2.27.

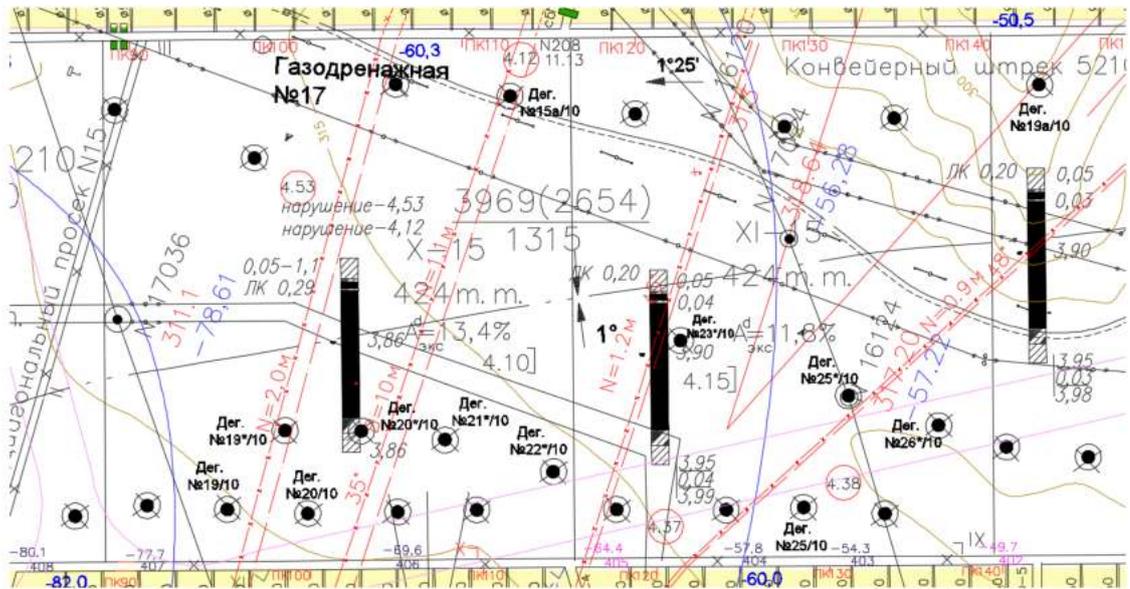


Рисунок 2.24 – Выкопировка из плана горных работ на участке 52-10 на участке высокой геологической нарушенности (пласт 52 шахта «Котинская», 2015 г.) с расположением дегазационных скважин

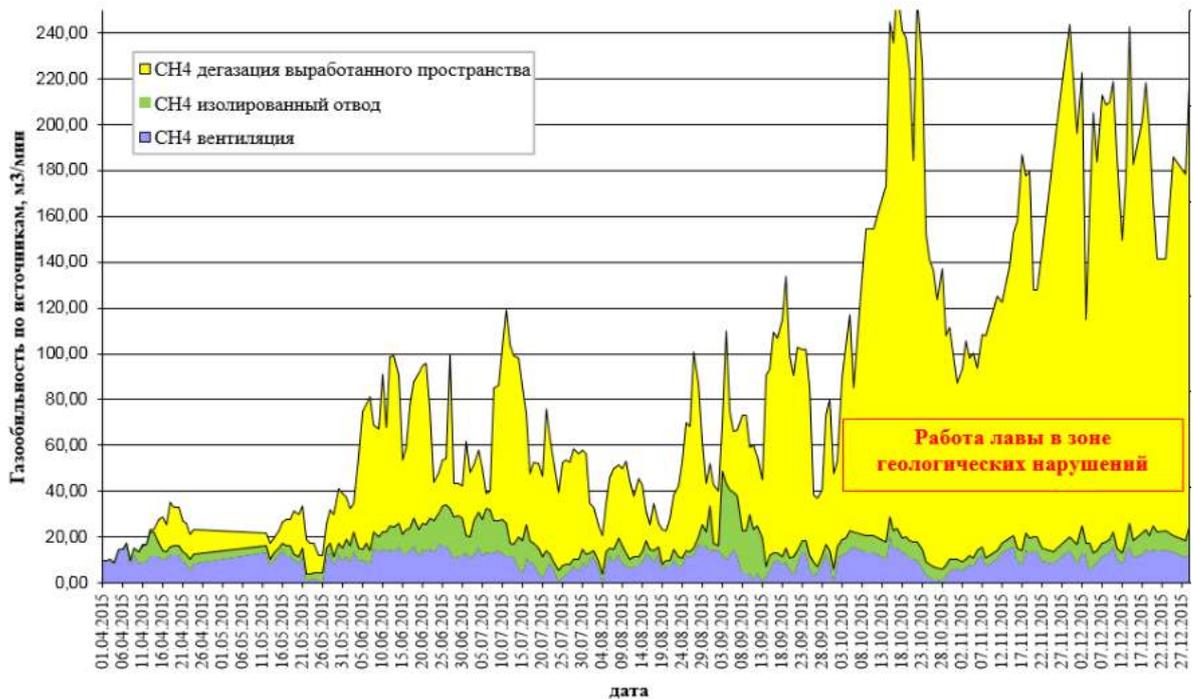


Рисунок 2.25 – Динамика газообильности по мере отработки запасов выемочного участка 52-10

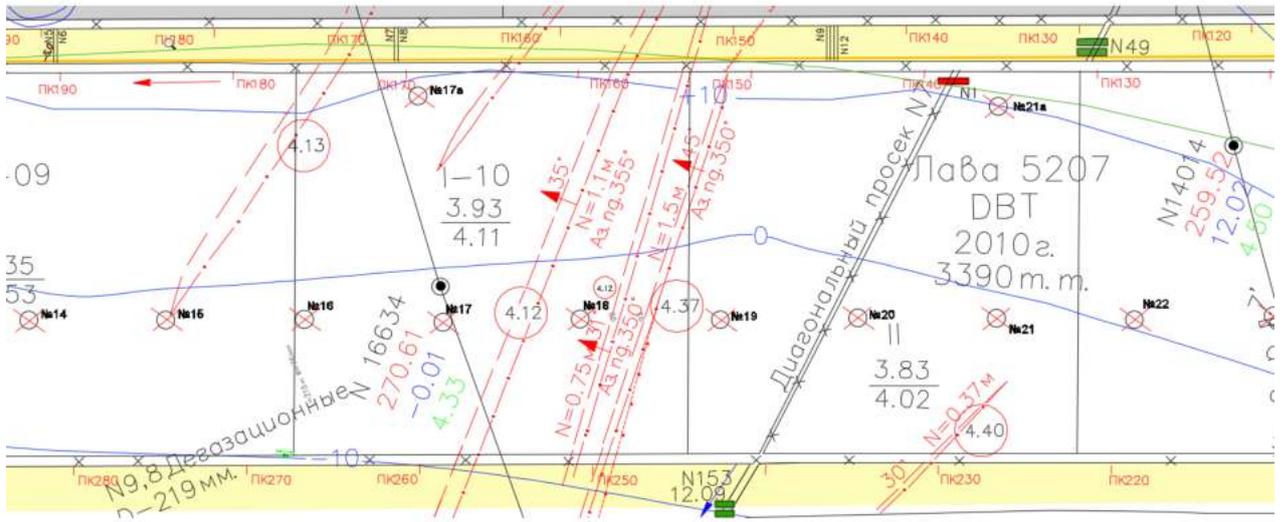


Рисунок 2.26 – Выкопировка из плана горных работ на участке 52-07 на участке высокой геологической нарушенности (пласт 52 шахта «Котинская», 2009-2010 гг.) с расположением дегазационных скважин

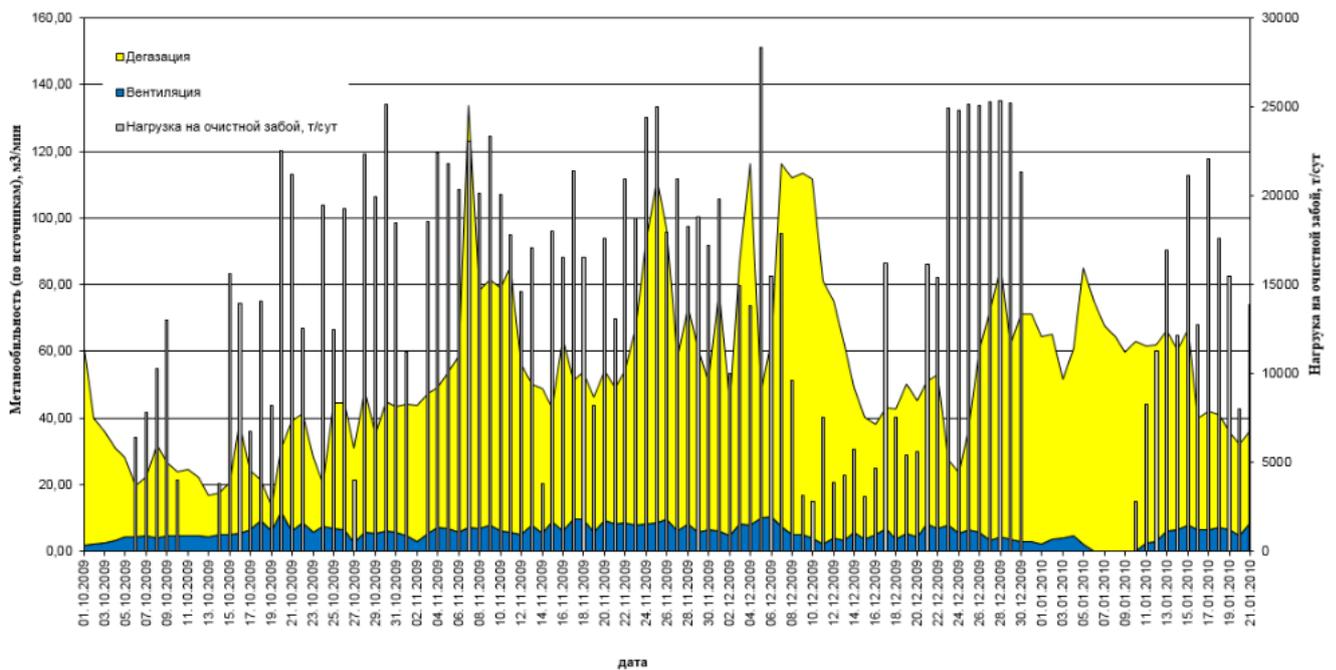


Рисунок 2.27 – Динамика газообильности выемочного участка (по источникам) по мере отработки запасов выемочного участка 52-07

Из рисунка 2.25 видно, что работа в зоне геологических нарушений сопровождается резким снижением нагрузок на очистной забой и повышением газовыделения более чем в 2 раза. При этом остановка лавы в начале января 2010

года сопровождалась снижением объемов газовыделения в лаве, но сохранением и даже повышением объемов газа, извлекаемого из выработанного пространства.

Следует также отметить существенное влияние оказываемое на газовую обстановку выемочных участков изменением физико-механических свойств горных пород Соколовской синклинали, проходящей через выемочные участки 52-10 и 52-13, отработка которых характеризовалась наибольшими объемами газовыделения на выемочных участках.

Таким образом, отработка запасов в зонах геологических нарушений сопровождается существенным (в 2 раза и более) повышением газовыделения в выработанное пространство и требует снижения скоростей подвигания очистных забоев для уменьшения площадей подработки-надработки в зонах повышенной проницаемости массива и интенсивности газоовыделения в выработанное пространство. Для обеспечения эффективного управления газовыделением на выемочных участках при работе в зонах геологических нарушений повышается частота бурения дегазационных скважин для удаления значительных объемов метана и обеспечения возможности переключения дегазационных установок в случае перехода скважин в аварийное состояние.

2.5 Выводы по второй главе

1. Выполненные шахтные исследования влияния интенсивности отработки запасов мощных газоносных пластов Соколовского месторождения на газообильность выемочных участков позволили сделать следующие выводы:

- Газообильность выемочных участков определяется газообильностью выработанных пространств, которая может достигать 150-210 м³/мин, в связи с чем возможность интенсивной отработки запасов предопределяется эффективностью дегазации выработанного пространства.

- Снижение интенсивности отработки вплоть до полной остановки лавы приводит к постепенному - с отставанием во времени в несколько часов - снижению интенсивности газовыделения в выработанное пространство.

- Наблюдаемые ограничения нагрузки на очистной забой связаны, в первую очередь, с низкой эффективностью изолированного отвода метановоздушной смеси с использованием сбоечных дегазационных скважин, поскольку существующие ограничения по концентрации метана в подземном газоотсасывающем трубопроводе (3,5%) не позволяют при расходах метановоздушной смеси порядка 150-200 м³/мин обеспечить необходимую эффективность изолированного отвода и приводят при увеличении нагрузки на очистной забой к превышению допустимой концентрации метана в «кутке» и в газоотсасывающем трубопроводе.

- Анализ опыта отработки пласта 50 показывает, что снятие ограничений нагрузок на очистные забои может быть обеспечено при использовании изолированного отвода метановоздушной смеси с использованием вентиляторов УВЦГ и газоотсасывающих трубопроводов, заведенных за перемычку, установленную в ближайшей к лаве вентиляционной сбойке.

2. Анализ эффективности работы дегазационных скважин при различных схемах их расположения позволил сделать следующие выводы:

- Наибольшей эффективностью работы характеризуются скважины, располагаемые вдоль вентиляционной выработки, а наименьшей – скважины, располагаемые вдоль воздухоподающей выработки.

- Эффективность работы скважин, располагаемых ближе к центру выемочного столба повышается по мере их смещения относительно центра лавы в сторону вентиляционной выработки.

- Схемы расположения дегазационных скважин в два ряда, применяемые при отработке мощных пластов Соколовского месторождения при газообильности выработанных пространств до 90-100 м³/мин, обладают значительным избыточным резервом и их применение характеризуется низкой эффективностью работы дополнительного ряда скважин и высокими затратами на бурение скважин.

- Применяемые в условиях отработки мощных пластов Соколовского месторождения схемы расположения скважин характеризуются значительным

разнообразием вариантов расположения дегазационных скважин и показателей эффективности их работы, что предопределяет необходимость исследования влияния их расположения и параметров дегазации на эффективность управления газовыделением на выемочном участке.

3. Отработка запасов выемочных столбов на участках повышенной геологической нарушенности сопровождается существенным (в 2 раза и более) повышением газообильности выемочного участка за счет роста газовыделения в выработанное пространство обусловленного увеличением газовой проницаемости вмещающего разрабатываемый пласт углепородного массива.

5. Для обеспечения эффективного управления газовыделением на участках выемочного столба, характеризующихся повышенной геологической нарушенностью, следует предусмотреть увеличением частоты бурения вертикальных дегазационных скважин в дополнительном ряду для обеспечения надежного удаления метана из выработанного пространства и повышения производительности дегазации для обеспечения ее требуемой эффективности.

ГЛАВА 3 ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ

3.1 Выбор и обоснование аэрогазодинамических моделей для проведения численных исследований

Для обоснования параметров схем дегазации выработанного пространства использовались методы вычислительной газодинамики (программный продукт Ansys CFX). Эффективность применения программного комплекса Ansys для решения задач определения рациональных параметров схем дегазации отмечалась многими авторами [33, 34, 108-112, 115-116]. Трехмерная аэрогазодинамическая модель выемочного участка, разработана на базе подходов других авторов [108-112, 115-116], реализована в масштабе 1:1 и включает в себя (рисунок 3.1): очистной забой, выработанное пространство, участковые подготовительные выработки, примыкающие к очистному забою, вертикальные дегазационные скважины, горизонтальные скважины, пробуренные через целик угля из параллельной выработки. Метанообильность выемочного участка задавалась путем задания равномерного расхода метана из очистного забоя разрабатываемого пласта, подрабатываемого и надрабатываемого массива (рисунок 3.1). Объемы метановыделения по источникам задавались в соответствии с расчетными (параграф 1.3) и фактически установленными значениями (глава 2).

Следует отметить необходимость задания различной проницаемости выработанного пространства, которая подчеркивается многими исследователями [108, 109, 115, 116]. В модели проницаемость участка выработанного пространства за лавой достигала величины $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, а в остальном выработанном пространстве снижалась до $3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$. Проницаемость зоны выработанного пространства, примыкающей к лаве оказывает значительное влияние на эффективность дегазации и вентиляции, поскольку определяет величину утечек воздуха [108, 109]. Шахтные наблюдения (шахта им.В.Д.Ялевского) показали

наличие остаточного сечения выработки за лавой, свободного для прохода воздуха, что оказывает значительное влияние на аэродинамические процессы и учитывалось при разработке модели путем задания различной проницаемости погашаемых за лавой участков выработок. Проницаемость погашаемой вентиляционной выработки в модели имела значительно большую величину, что обуславливалось как ее погашением на границе в условиях массив-выработанное пространство, по сравнению с погашаемой в условиях целик-выработанное пространство воздухоподающей выработкой, а также использованием крепи усиления для сохранения остаточного сечения погашаемой выработки и достигала значений $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

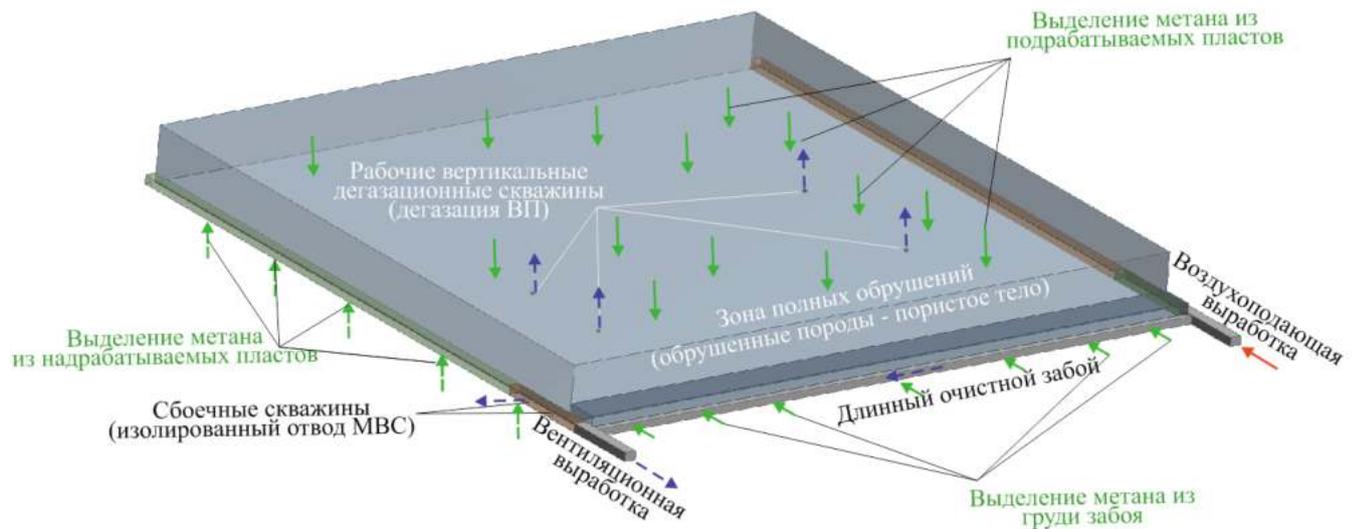


Рисунок 3.1 – Трехмерная аэрогазодинамическая модель

Анализ ранее выполненных исследований показал целесообразность моделирования за лавой только части выработанного пространства, протяженностью 300 м [108-112]. Поскольку именно в этой части выработанного пространства происходит наиболее активное метановыделение, а также движение воздушных потоков при применении комбинированной схемы проветривания. Выполненными шахтными исследованиями была установлена ограниченная протяженность зоны активного метановыделения порядка 90-140 м за пределами

которой работа скважин характеризуется удалением метановоздушной смеси с концентрацией порядка 2-5%. В этой связи при моделировании газовыделение из подрабатываемого и надрабатываемого массивов в зоне активного метановыделения превышало газовыделение в других зонах в 15 раз. Положение зоны активного газовыделения задавалось с отставанием от лавы до шага обрушения основной кровли 40 м, а общая протяженность зоны – 120 м.

На начальном этапе было выполнено моделирование существующих схем дегазации. В качестве примера результатов такого моделирования на рисунке 3.2 представлены поля распределения метана на участке 52-09 при отработке с использованием трех рядов дегазационных скважин (рисунок 2.14). Результаты моделирования (рисунок 3.2) полностью соответствуют результатам шахтных наблюдений, представленных на рисунках 2.15 и 2.16.

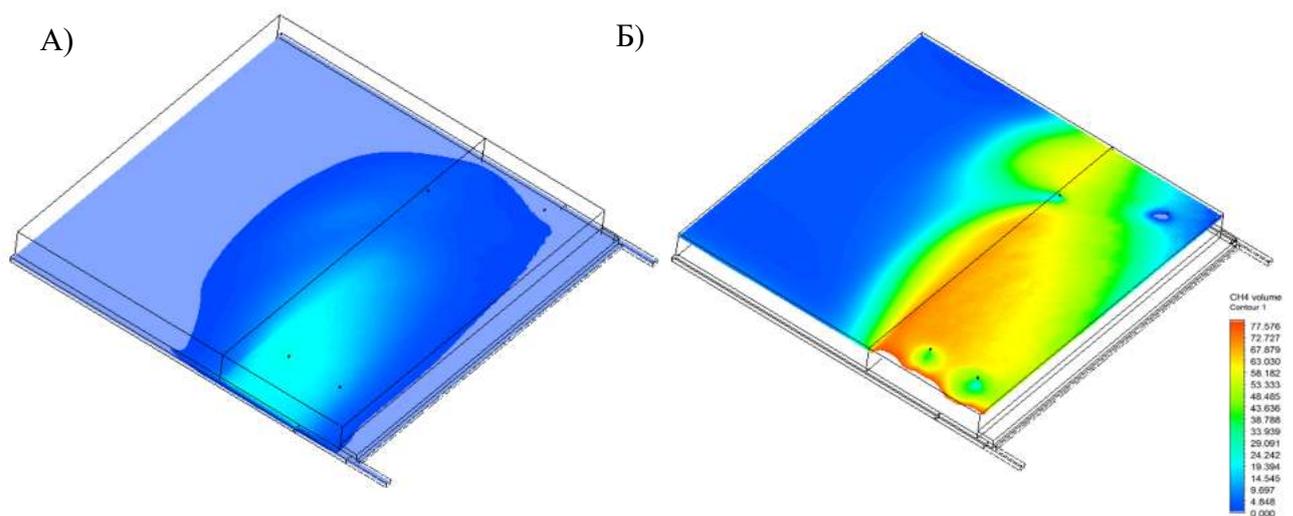


Рисунок 3.2 – Поля концентраций метана на выемочном участке: А) 2 м от почвы пласта;
Б) 22 м от почвы пласта

После чего была произведена корректировка параметров модели (проницаемости выработанного пространства) для достижения соответствия реальным шахтным данным.

3.2 Численные исследования влияния параметров технологических схем на эффективность управления газовойделением

В результате выполненных с использованием разработанных аэрогазодинамических моделей численных исследований получены поля концентрации метана, кислорода, скоростей воздуха, а также пути движения воздуха в выработках выемочного участка и в выработанном пространстве при различных параметрах схем дегазации и изолированного отвода. При выполнении исследований применялись две основные расчетные схемы, принципиально отличающиеся способами изолированного отвода метановоздушной смеси: с использованием сбоечных скважин (рисунок 3.1) и с применением изолированного отвода через заднюю вентиляционную сбойку с применением вентиляторов УВЦГ-9.

Выполненные исследования показали возможность реализации схемы дегазации выработанного пространства с использованием одного ряда скважин, смещенных относительно воздухоотводящей выработки на 30 м в сочетании с изолированным отводом метана с использованием сбоечных скважин с расходом метановоздушной смеси до 200 м³/мин при газообильности (объемах извлекаемого метана) выработанного пространства до 75 м³/мин. Дальнейшее увеличение газообильности выработанного пространства приводит к превышению допустимой концентрации в подземном дегазационном трубопроводе (изолированный отвод).

Рассмотрим в качестве примера фрагменты результатов исследований для следующих условий: объем воздуха, подаваемый на выемочный участок 2300 м³/мин; расход метановоздушной смеси на изолированный отвод 200 м³/мин, расход метановоздушной смеси – 150 м³/мин на скважину (две скважины в работе). На рисунке 3.3,А в качестве примера представлено распределение метана с концентрацией до 1% в пределах сечения параллельного напластованию на высоте 2 м от почвы пласта. Как видно из рисунка 3.3,А в пределах участковых выработок концентрация метана менее 1%. Концентрация метана на исходящей из

лавы составляет 0,65%, в газоотсасывающем трубопроводе – 2,75%, в кутке – 0,75%. Концентрация метана в вертикальных дегазационных скважинах 20 и 24% соответственно.

Расход воздуха порядка 3000 м³/мин является предельно допустимым при рассматриваемых параметрах схемы проветривания, вынимаемой мощности пласта и применяемого в лаве оборудования (в соответствии с формулой 3.1). Возможность подачи такого объема воздуха подтверждается как результатами шахтных исследований, так и результатами численных исследований (рисунок 3.5).

$$Q_{\text{оч}} \leq Q_{\text{оч max}} k_{\text{о.з}} = 60S_{\text{оч}} V_{\text{max}} k_{\text{о.з}}, \text{ м}^3/\text{мин} \quad (3.1)$$

Учитывая, что при управлении кровлей полным обрушением коэффициент, учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства, непосредственно прилегающей к призабойному пространству, составляет 1,25-1,3 считаем целесообразным стремиться к величине суммарного расхода изолированного расхода и дегазации порядка 30% от объема воздуха, поступающего на выемочных участок.

Применение эффективного изолированного отвода, по нашему мнению, является обязательным условием эффективного газоправления на выемочном участке при отработке газоносных пластов, склонных к самовозгоранию, поскольку возвратноточной схеме проветривания имеется необходимость исключения возвращения в очистной забой части воздуха, движущейся по выработанному пространству.

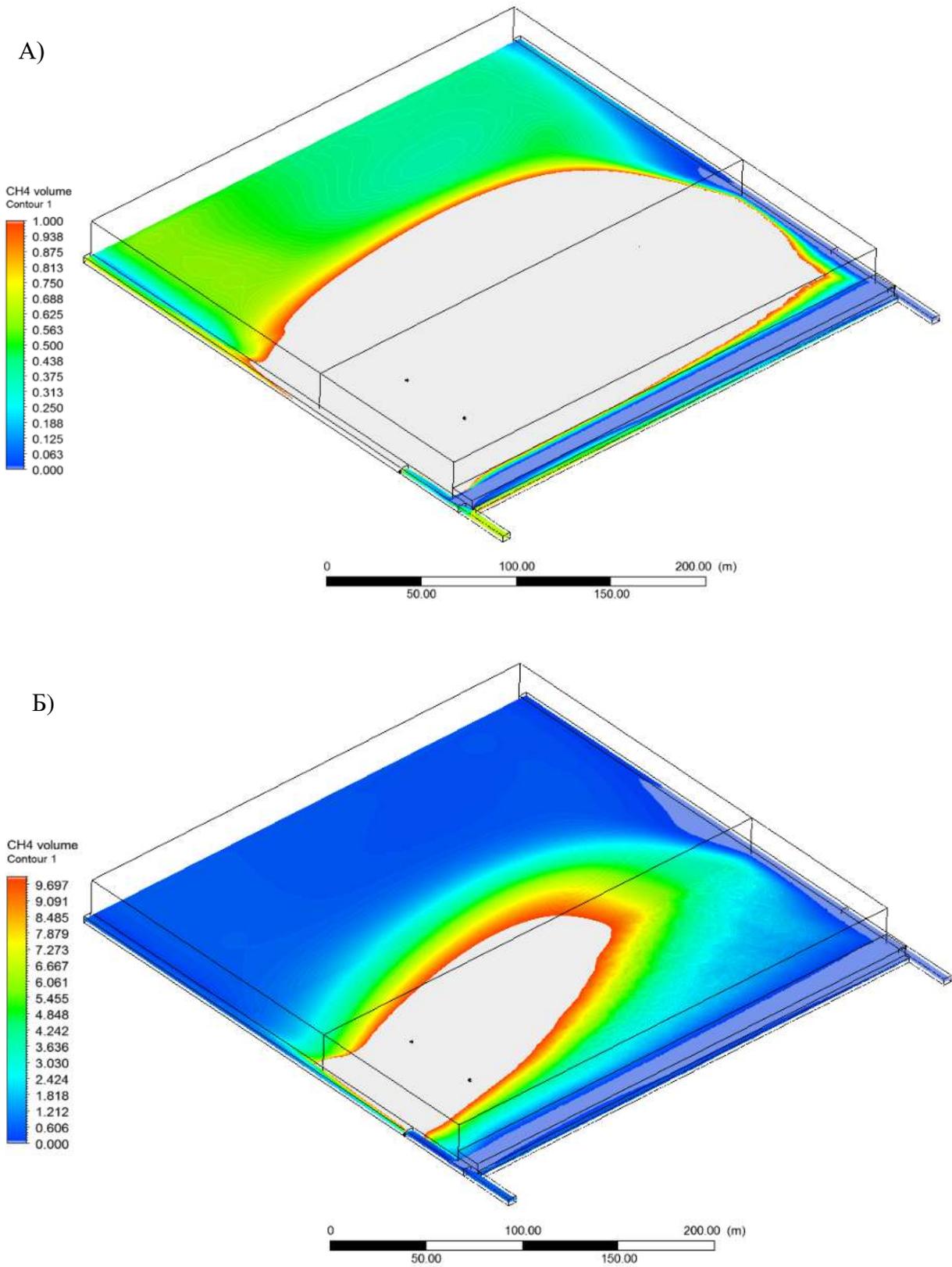


Рисунок 3.3 – Поля концентраций метана (в плоскости напластования на высоте 2 м от почвы пласта): А) в диапазоне 0-1%; Б) в диапазоне 0-10%

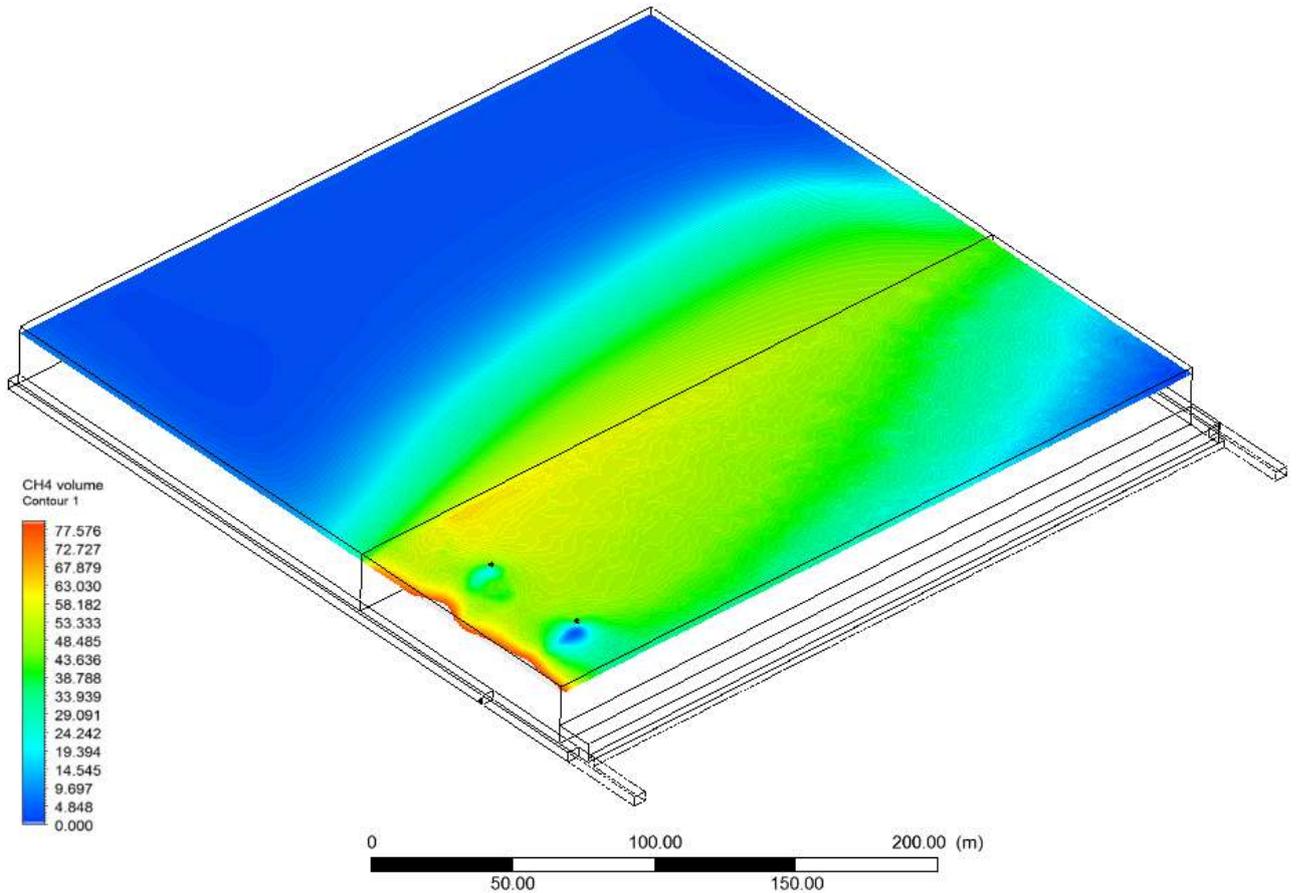


Рисунок 3.4 – Поля концентраций метана в диапазоне 0-80% (в плоскости на высоте 22 м от почвы пласта)

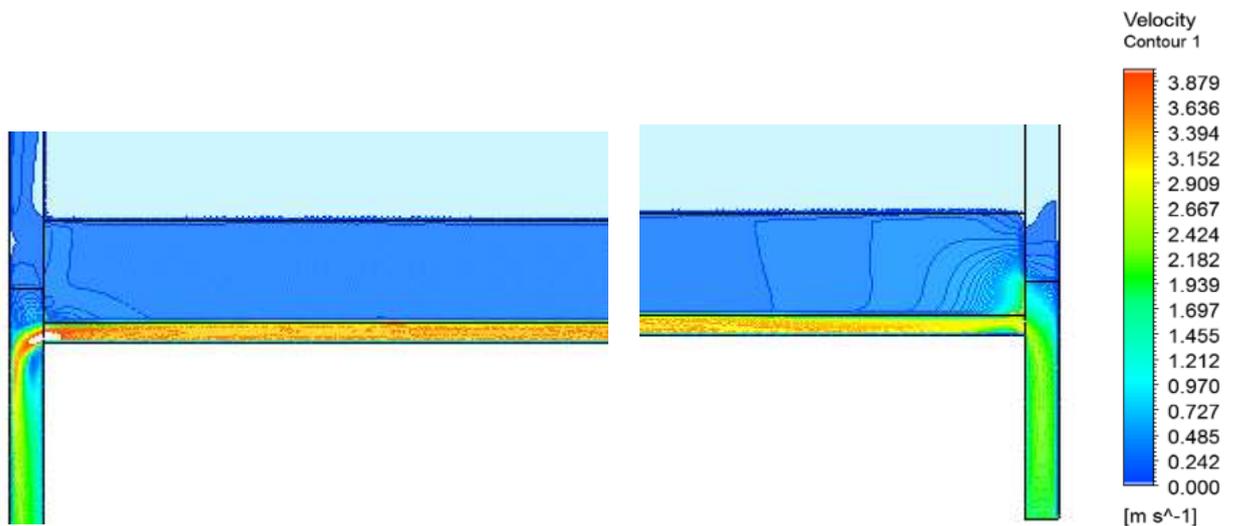


Рисунок 3.5 – Поля скоростей движения воздуха в лаве: А) исходящая из лавы струя; Б) свежая струя

Применение двух вентиляторов УВЦГ-9 обеспечивают удаление до 700 м³/мин метановоздушной смеси с концентрацией до 3,5%, четырех вентиляторов – до 1400 м³/мин, что существенно расширяет возможности изолированного

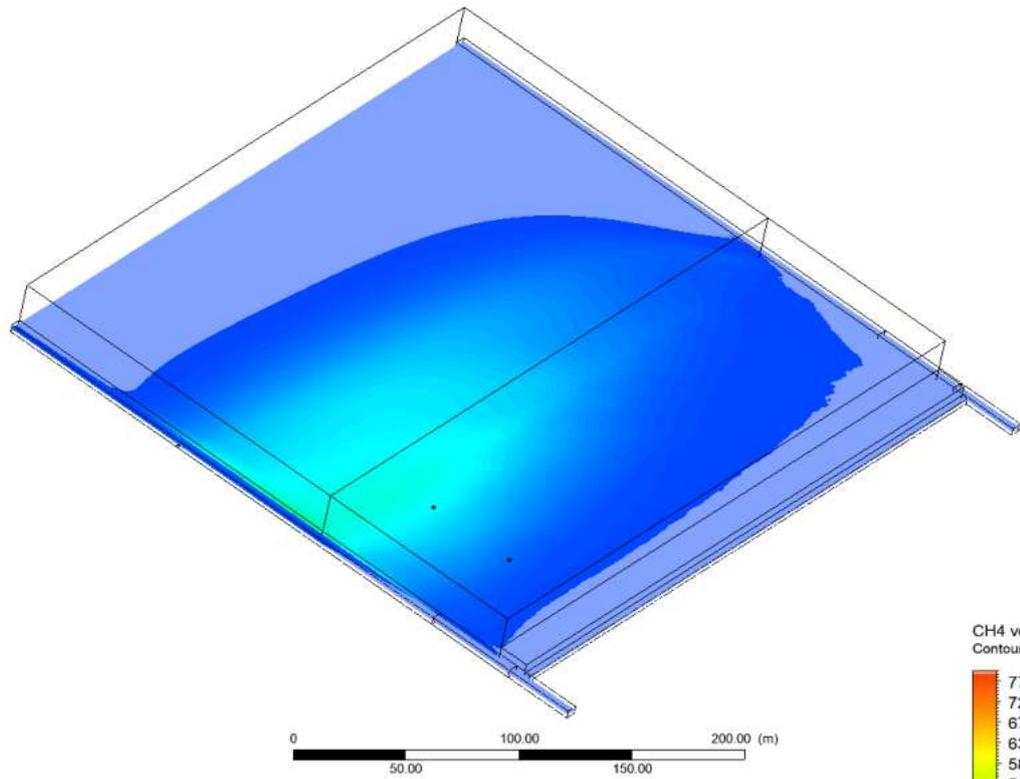
отвода и повышает его эффективность. При применении изолированного отвода с высокими расходами метановоздушной смеси расход воздуха на выемочном участке может достигать $3600 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Следует отметить, что успешный опыт применения одного ряда дегазационных скважин имеется в Австралии и США, где дегазационные скважины также располагались со стороны воздухоотводящей выработки.

На рисунке 3.6 представлены поля концентраций метана в сечении параллельном напластованию пласта, проведенном на высоте 2 м от почвы при использовании изолированного отвода метановоздушной смеси с использованием двух газоотсасывающих вентиляторов УВЦГ-9 (расход $1000 \text{ м}^3/\text{мин}$) в случае отставания вентиляционной сбойки за перемычку которой заведены газоотсасывающие трубопроводы на расстояние 220 м от лавы. Объемы удаляемого средствами вентиляции, дегазации и изолированного отвода достигли $98 \text{ м}^3/\text{мин}$.

На рисунке 3.7 представлены линии тока основных воздушных потоков, поступающих соответственно в газоотсасывающий трубопровод, заведенный за перемычку (изолированный отвод) и в дегазационные скважины при расстоянии между сбоечными скважинами 220 м. Как видно из рисунка 3.7 основные потоки, поступающие на изолированный отвод и в дегазационные скважины, движутся по части призабойного пространства, примыкающей к лаве. Таким образом осуществляется надежная изоляция призабойного пространства лавы от метана, выделяющегося в выработанное пространство из подрабатываемого и надрабатываемого массива.

A)



Б)

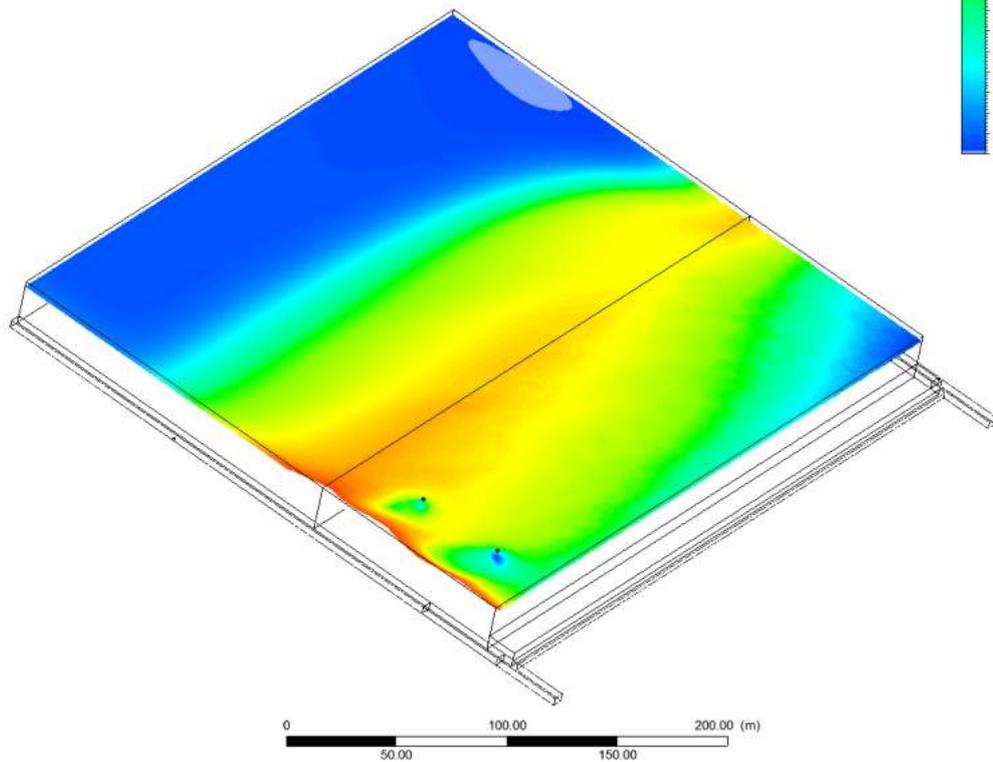
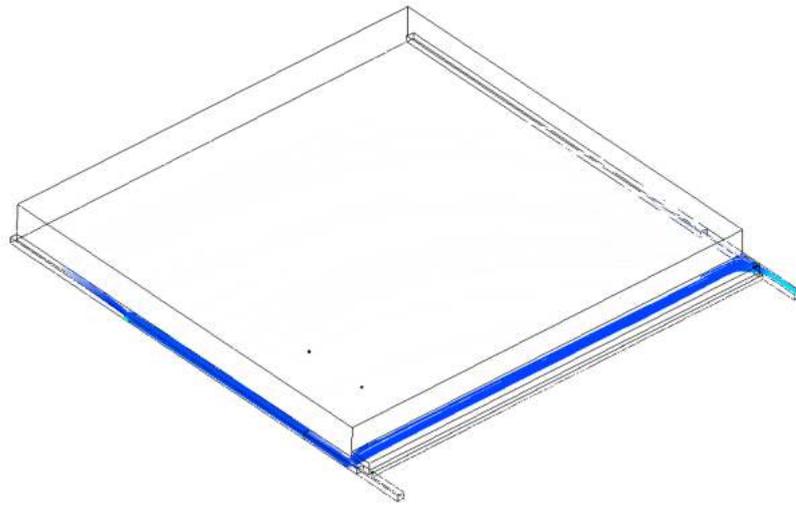
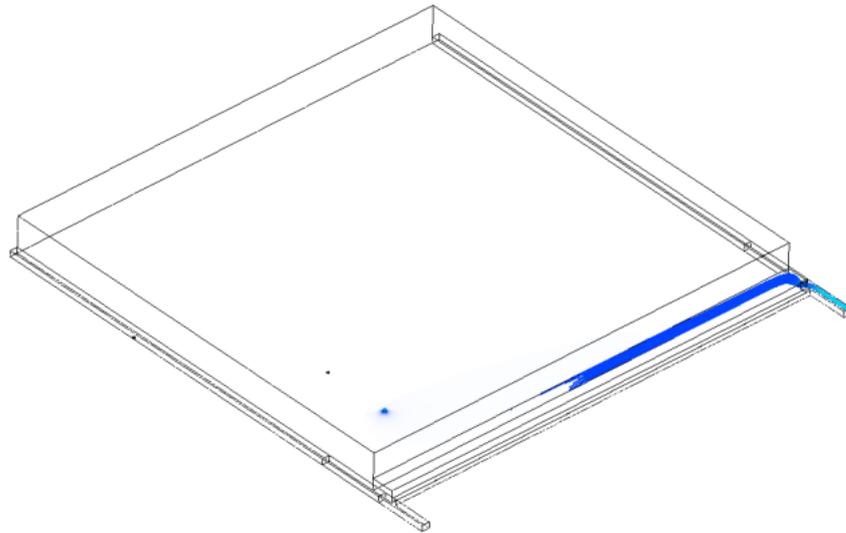


Рисунок 3.6 – Поля концентраций метана при отставании вентиляционной сбойки от лавы 220 м: А) 2 м от почвы пласта; Б) 22 м от почвы пласта

А)



Б)



В)

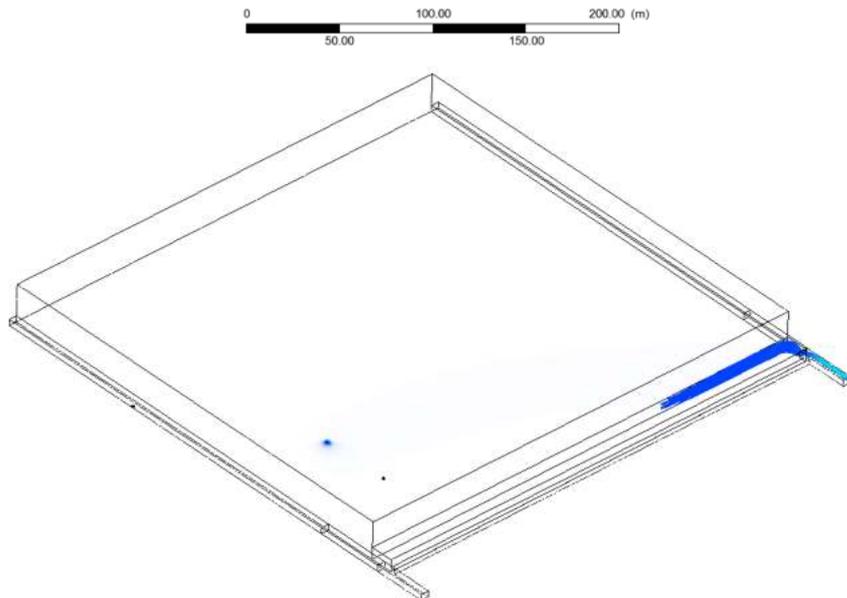


Рисунок 3.7 – Линии тока для основных воздушных потоков выемочного участка: А) изолированный отвод к задней сбоске; Б) и В) соответственно к 1-й и 2-й от лавы дегазационным скважинам

Таблица 3.1 – Исходные данные и результаты численных исследований [24]

№	Исходные данные				Выходные параметры									Примечание
	Схема дегазации		Схема изолированного отвода		Вентиляция	Концентрация метана, %			Объемы удаляемого метана, м ³ /мин					
	Параметры схемы дегазации	Расход метановоздушной смеси, м ³ /мин	Параметры схемы изолированного отвода	Расход метановоздушной смеси, м ³ /мин	Расход воздуха в воздухоподающей выработке, м ³ /мин	Исходящая из лавы	Куток	Газоотсасывающий трубопровод	Дегазация (скв.1, скв.2, ...)	Вентиляция	Изолированный отвод	Дегазация	Всего на выемочном участке	
1	Выемочный участок 52-09 Три ряда скважин: основной у вент. Выработки (2 скв.); А – у воздухоподающей (1 скв.); Б – со смещением от воздухоподающей на 70 м (1 скв.)	80*2=16 0 35*1=35 35*1=35	2 куста скважин через 20 м по 2 скважины через 1 м	230	2300	0,64	0,8 8	3,45	52,5 41,8 44,6 17,6	15,8	7,9	97,2	120,9	Низкая эффективность работы ряда скважин, пробуренных вдоль воздухоподающей выработки: 25% затрат на бурение – 6% от всего объема метана, извлекаемого скважинами [24]
2	Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м)	80*2=16 0	2 куста скважин через 20 м по 2 скважины через 1 м	150	2300	0,65	0,3 9	4,1	41,1 27,9	13,2	6,15	55,6	75	Превышение допустимой концентрации метана в газоотсасывающем трубопроводе

Продолжение таблицы 3.1

3	Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м)	80*2=160	2 куста скважин через 20 м по 2 скважины через 1 м	200	2300	0,66	0,4	3,14	41 27,6	13,1	6,28	54,9	74,3	Предел возможности применения схемы является газообильность выработанного пространства 62 м ³ /мин [24]
4	Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м)	80*2=160	Оставшие вент. сбойки 220 м	700	2800	0,6	0,5 4	3,44	44,1 29,2	12	24,1	66,6	94,7	Предел возможности применения схемы с такими параметрами является газообильность выработанного пространства 72 м ³ /мин [24]
5	Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м)	80*2=160	Оставшие вент. сбойки 220 м	900	2800	0,61	0,6 3	3,47	50,6 32,6	10,5	31,2	66,6	108,3	Предел возможности применения схемы с такими параметрами является газообильность выработанного пространства 97 м ³ /мин [24]
6	Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м)	80*2=160	Оставшие вент. сбойки 280 м	900	2800	0,61	0,6 3	3,6	49 32,2	10,5	32,4	65,4	108,3	Превышение допустимой концентрации метана в газоотсасывающем трубопроводе

Продолжение таблицы 3.1

7	Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м)	80*2=160	Отставание вент. сбойки 220 м	1400	3600	0,51	0,45	3,45	53,9 36,2	10,8	48,3	72,1	131,2	Предел возможности применения схемы с такими параметрами является газообильность выработанного пространства 120 м ³ /мин [24]
---	--	----------	-------------------------------	------	------	------	------	------	--------------	------	------	------	-------	--

Следует отметить, что на рисунке 3.7, А видно, что метановоздушная смесь, поступающая на изолированный отвод формируется не только потоками, которые движутся от лавы, но и потоками, поступающими из погашаемой части вентиляционной выработки, находящейся за ближайшей вентиляционной сбойкой, а также из выработанного пространства, что объясняет необходимость сокращения расстояния между сбойками для исключения поступления метановоздушных смесей с повышенной концентрацией, а также предопределяет необходимость сохранения остаточного сечения вентиляционной выработки для снижения её аэродинамического сопротивления.

В результате исследований установлено влияния параметров схемы дегазации и различных схем изолированного отвода на эффективность управления газовыделением. Оценка эффективности управления определялась по количеству газа, удаляемого средствами дегазации и вентиляции и концентрации метана на соответствующих ответственных участках: исходящая из лавы, куток, концентрация метана газоотводящем трубопроводе.

Результаты выполненных исследований, а также принимаемые в качестве исходных данных параметры схем проветривания, дегазации и изолированного отвода сведены в таблицу 3.1. Как видно из таблицы 3.1 возможности удаления метана при использовании только одного ряда скважин ограничены в связи с чем эффективность газоправления определяется, в первую очередь, эффективностью изолированного отвода: расходами метановоздушной смеси и, при использовании вентиляторов УВЦГ-9, расстоянием между вентиляционными сбойками, за переключки которых заведен газоотсасывающий трубопровод. Из таблицы 3.1 также видно, что увеличение расстояния между сбойками приводит к увеличению концентрации метана в газоотсасывающем трубопроводе.

В результате исследований для обеспечения эффективного управления газовыделением при отработке мощных газоносных пластов “50” и “52” в условиях шахты им.В.Д.Ялевского рекомендовано на глубинах до 400 м вне зон геологических нарушений применение дегазации выработанного пространства с одним рядом дегазационных скважин при условии обеспечения эффективного

изолированного отвода с расходами метановоздушной смеси не менее $600 \text{ м}^3/\text{мин}$ при расстоянии между вентиляционными сбойками до 220 м. Требуемый расход изолированного отвода определяется фактической газообильностью выемочного участка.

3.3 Выводы по третьей главе

1. Выполненные численные исследования влияния схемы расположения вертикальных дегазационных скважин на эффективность управления газовыделением в выработки выемочных участков позволили сделать следующие основные выводы:

- Расположение ряда дегазационных скважин вдоль вентиляционной выработки с одновременной работой не менее двух скважин с расходом на каждую скважину не менее $80 \text{ м}^3/\text{мин}$ является необходимым условием обеспечения эффективной дегазации выработанного пространства (удаления максимальных объемов метана) при отработке свит газоносных угольных пластов.

- Эффективность работы дополнительного ряда дегазационных скважин снижается по мере их смещения в сторону воздухоподающей выработки, в связи с чем в случае необходимости повышения эффективности дегазации может быть рекомендовано расположение дополнительного ряда дегазационных скважин по центру выемочного столба или со смещением от центра в сторону вентиляционных выработок. Параметры дегазационных скважин: диаметр скважин, расстояние между скважинами и расход воздуха определяются метанообильностью выработанного пространства.

2. Выполненные численные исследования показали возможность обеспечения эффективного управления газовыделением при отработке мощных газоносных пластов “50” и “52” в условиях Соколовского месторождения Кузбасса вне зон геологических нарушений с применением дегазации выработанного пространства с одним рядом дегазационных скважин при газообильности выработанных пространств до $140 \text{ м}^3/\text{мин}$ при условии

обеспечения эффективного изолированного отвода метановоздушной смеси более $600 \text{ м}^3/\text{мин}$ [24].

3. Увеличение метанообильности выработанных пространств выемочных участков свыше 120 м^3 в минуту в зонах влияния геологических нарушений, а также снижение устойчивости скважин в указанных зонах обуславливают необходимость применения дополнительного ряда скважин, располагаемого в центре выемочного столба (или со смещением в сторону вентиляционной выработки) на расстоянии друг от друга 80 м [24].

4. Достижение предельно допустимой концентрации метана в дегазационном трубопроводе при изолированном отводе метановоздушной смеси через сбоечные скважины является основным ограничивающим фактором для эффективного управления газовыделением с применением одного ряда дегазационных скважин [24].

5. Для обеспечения эффективного управления газовыделением в выработки выемочного участка при использовании рекомендуемой схемы дегазации выработанного пространства с одним рядом дегазационных скважин в широком диапазоне горно-геологических условий Соколовского месторождения необходимо обеспечить повышение расхода воздуха на изолированный отвод метановоздушной смеси. Повышение расхода воздуха до $600 \text{ м}^3/\text{мин}$ и более за счет применения двух дегазационных трубопроводов, заведенных за переключку в задней вентиляционной сбойке и подключенных к отдельным вентиляторам УВЦГ-9 обеспечивает эффективное управление газовыделением при реализации рекомендуемой схемы расположения дегазационных скважин в один ряд.

ГЛАВА 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ИНТЕНСИВНОЙ ОТРАБОТКИ СВИТ ГАЗОНОСНЫХ СКЛОННЫХ К САМОВОЗГОРАНИЮ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

4.1 Обоснование параметров технологических схем интенсивной отработки мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов

В качестве основных параметров технологических схем интенсивной отработки мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов следует рассматривать:

- параметры подготовки выемочных участков – длина лавы, которая определяет интенсивность отработки запасов за счет изменения полноты использования высокопроизводительного очистного оборудования (повышения коэффициента машинного времени очистного комбайна с увеличением длины лавы) и площадей подработки-надработки, определяющие газовыделение в выработанное пространство (особенно в зонах геологических нарушений);

- параметры применяемой схемы дегазации – количество рядов скважин, расстоянием между скважинами и расход удаляемой метановоздушной смеси;

- параметры изолированного отвода – применяемая схема (с использованием сбоечных скважин; дегазационного трубопровода, заведенного за перемычку; смесительной камеры) и ее параметры (максимальное расстояние между сбоями, расход метановоздушной смеси).

Параметры рекомендуемых схем определяются газообильностью выработанного пространства выемочных участков, которая в свою очередь зависит от газовыделения из подрабатываемых и надрабатываемых пластов, интенсивности отработки запасов, а также наличия зон геологических нарушений.

Параметры подготовки выемочного участка – длина лавы - определяется возможностью полного снятия газового барьера за счет эффективного управления газовыделением. При наличие газового барьера длину лавы следует принимать в диапазоне 250-300 м, а при его отсутствии – увеличивать с целью повышения

использования потенциала современного высокопроизводительного оборудования до 400 м и более.

Параметры применяемой схемы дегазации должны обеспечивать удаление метана из выработанного пространства с максимальным коэффициентом дегазации при минимальных затратах на их реализацию.

В соответствии с действующим нормативным документов расстояние между вертикальными скважинами, пробуренными для дегазации подрабатываемых пластов и выработанных пространств принимается кратным шагу обрушения пород основной кровли.

Выполненными нами ранее исследованиями изменения газообильности выработанных пространств выемочных участков по пласту 52, результаты которых опубликованы в ряде научных работ [103-104], установлено, что шаг обрушения основной кровли меняется в диапазоне от 25 до 50 м, что объясняется значительной изменчивостью физико-механических свойств пород кровли, а также низкой устойчивостью работы очистных забоев, предопределяющей значительную изменчивость скоростей подвигания лав. В этой связи рекомендуется бурение дегазационных скважин основного ряда на расстоянии друг от друга 40 м, а вспомогательного ряда (в случае необходимости) на расстоянии 80 м. Следует отметить, что необходимость учета взаимосвязи геомеханических и газодинамических процессов отмечалась рядом исследователей [9, 48, 63-65, 81, 98, 102].

В качестве основной (базовой) схемы расположения дегазационных скважин следует принимать схему их расположения в один ряд на расстоянии от вентиляционной выработки порядка 30-40 м.

Выполненными исследованиями установлена возможность применения базовой схемы дегазации в сочетании с изолированным отводом метановоздушной смеси через сбоечные скважины при газообильности (объемах удаляемого метана при рациональном расположении скважин) выработанного пространства до $62 \text{ м}^3/\text{мин}$. Основные ограничения применения управления газовыделением с такими параметрами схем дегазации и изолированного отвода

при повышении газообильности связаны с низкой эффективностью газоправления с использованием сбоечных скважин и превышением допустимой концентрации метана в дегазационном трубопроводе. Рекомендуемый вариант технологической схемы отработки мощных газоносных угольных пластов, склонных к самовозгоранию, в условиях выемочных участков с газообильностью выработанных пространств до $62 \text{ м}^3/\text{мин}$ представлен на рисунке 4.1.

Необходимыми условиями обеспечения эффективного управления газовыделением при рекомендуемом варианте технологической схемы (рисунок 4.1) являются: обеспечение расхода не менее $80 \text{ м}^3/\text{мин}$ на дегазационную скважину, и расхода не менее $200 \text{ м}^3/\text{мин}$ на изолированный отвод метановоздушной смеси из выработанного пространства, при расходе воздуха на выемочный участок не менее $2300 \text{ м}^3/\text{мин}$.

В случае увеличения газообильности выемочного участка (например, в зонах геологической нарушенности) предусматривается бурение дополнительного ряда вертикальных дегазационных скважин (рисунок 4.2), что существенно удорожает управление газовыделением, однако может быть рекомендовано к применению на ограниченных участках выемочных столбов как вынужденная мера.

Учитывая, что газообильность выработанного пространства при отработке мощных газоносных пластов Соколовского месторождения на глубинах уже более 250 м превышает $62 \text{ м}^3/\text{мин}$ даже при интенсивности отработки запасов 20 000 т/сут, данная схема может быть рекомендована только при отработке выемочных участков до указанной глубины и с указанным пределом интенсивности.

Расширение области применения базового варианта схемы дегазации (с одним рядом скважин) обеспечивается за счет повышения эффективности изолированного отвода, достигаемой увеличением расхода метановоздушной смеси до $400 \text{ м}^3/\text{мин}$ при использовании смесительной камеры и до 600-1400 $\text{м}^3/\text{мин}$ при использовании вентиляторов УВЦГ-9 с дегазационных трубопроводов, заведенных за перемычку в задней сбойке (рисунок 4.2). Ограничения объемов удаляемого метан при использовании изолированного

отвода через смесительную камеру могут быть сняты при обеспечении эффективного разбавления метановоздушной смеси в камере за счет подачи необходимого количества воздуха в выработку со смесительной камерой. Анализ опыта применения смесительных камер показал сложность обеспечения устойчивости управления газовыделением, что не позволяет рекомендовать такую схему для широкого применения.

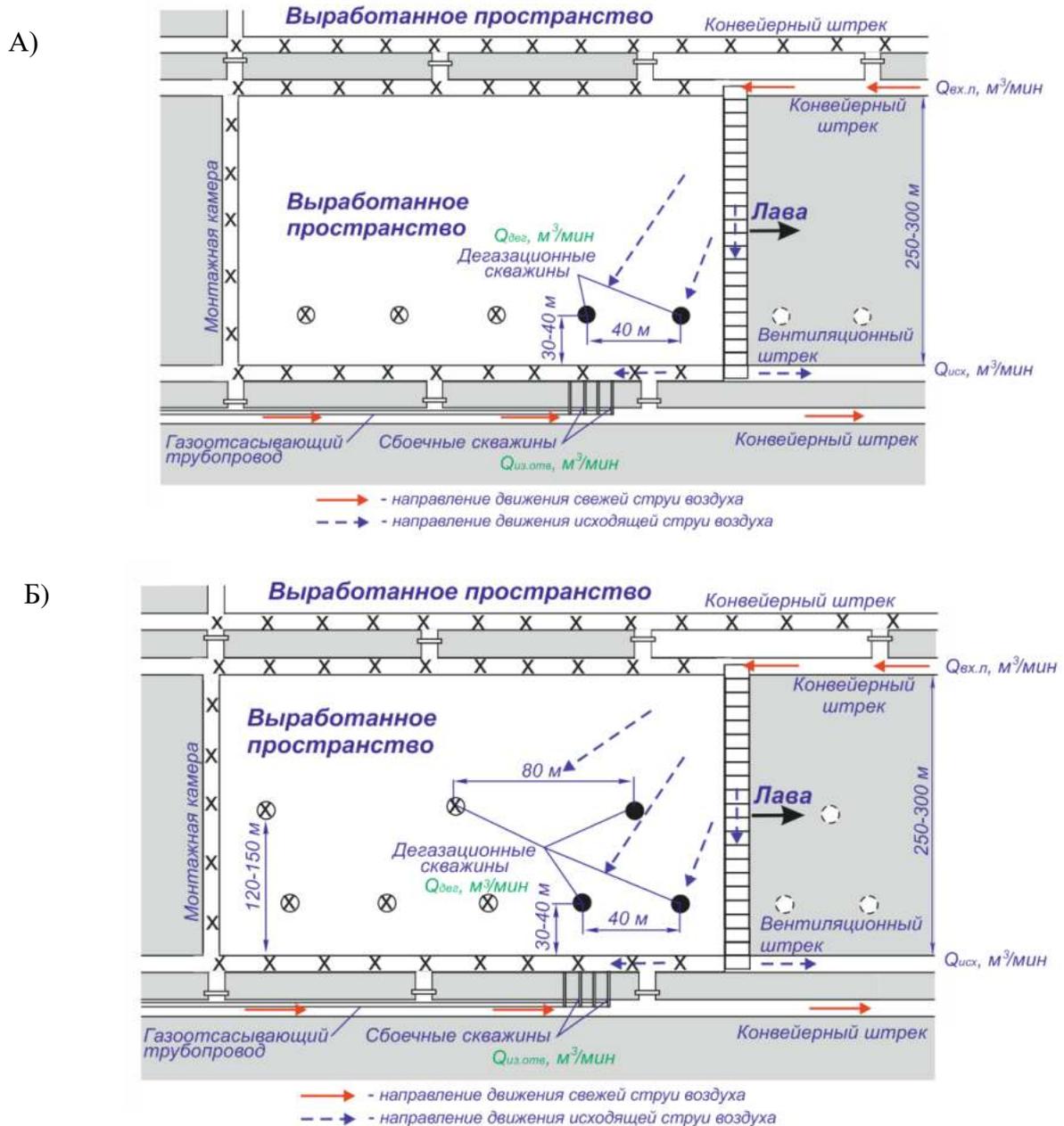


Рисунок 4.1 – Рекомендуемый вариант технологической отработки мощных газоносных пластов при газообильности выработанного пространства до $65 \text{ м}^3/\text{мин}$: А) работа лавы вне зоны геологических нарушений; Б) работа лавы в зонах влияния геологических нарушений

Расширение области применения базового варианта схемы дегазации (с одним рядом скважин) обеспечивается за счет повышения эффективности изолированного отвода, достигаемой увеличением расхода метановоздушной смеси до 400 м³/мин при использовании смесительной камеры и до 600-1400 м³/мин при использовании вентиляторов УВЦГ-9 с дегазационных трубопроводов, заведенных за перемычку в задней сбойке (рисунок 4.2). Ограничения объемов удаляемого метана при использовании изолированного отвода через смесительную камеру могут быть сняты при обеспечении эффективного разбавления метановоздушной смеси в камере за счет подачи необходимого количества воздуха в выработку со смесительной камерой. Анализ опыта применения смесительных камер показал сложность обеспечения устойчивого управления газовыделением, необходимость постоянного регулирования его параметров, а также повышенную опасность из-за выдачи значительных объемов метана в действующую выработку (при подготовке двумя штреками), что не позволяет рекомендовать такую схему для широкого применения.

Одним из основных параметров схем газопроветывания с изолированным отводом является расстоянием между вентиляционными сбоями. Выполненными шахтными и численными исследованиями установлено, что предельным расстоянием между вентиляционными сбоями является расстояние 220 м. Превышение указанного расстояния приводит резкому росту аварийности при работе изолированного отвода, вызванного обрушением кровли и потерей остаточного сечения, а также повышением концентрации метана в выдаваемой из выработанного пространства метановоздушной смеси.

На рисунке 4.2,А представлена технологическая схема отработки мощных газоносных пластов в условиях газообильности выработанного пространства до 140 м³/мин. Основные параметры схемы: длина лавы 250-400 м, расстояние между вентиляционными сбоями до 220 м, расход воздуха на выемочный участок 1500-3600 м³/мин (определяется газообильностью участка), суммарный расход метановоздушной смеси при работе двух вентиляторов УВЦГ-9 не менее

600 м³/мин, один ряд дегазационных скважин с суммарным расходом метановоздушной смеси на дегазацию при работе двух дегазационных установок (например ВВН-150) не менее 150 м³/мин.

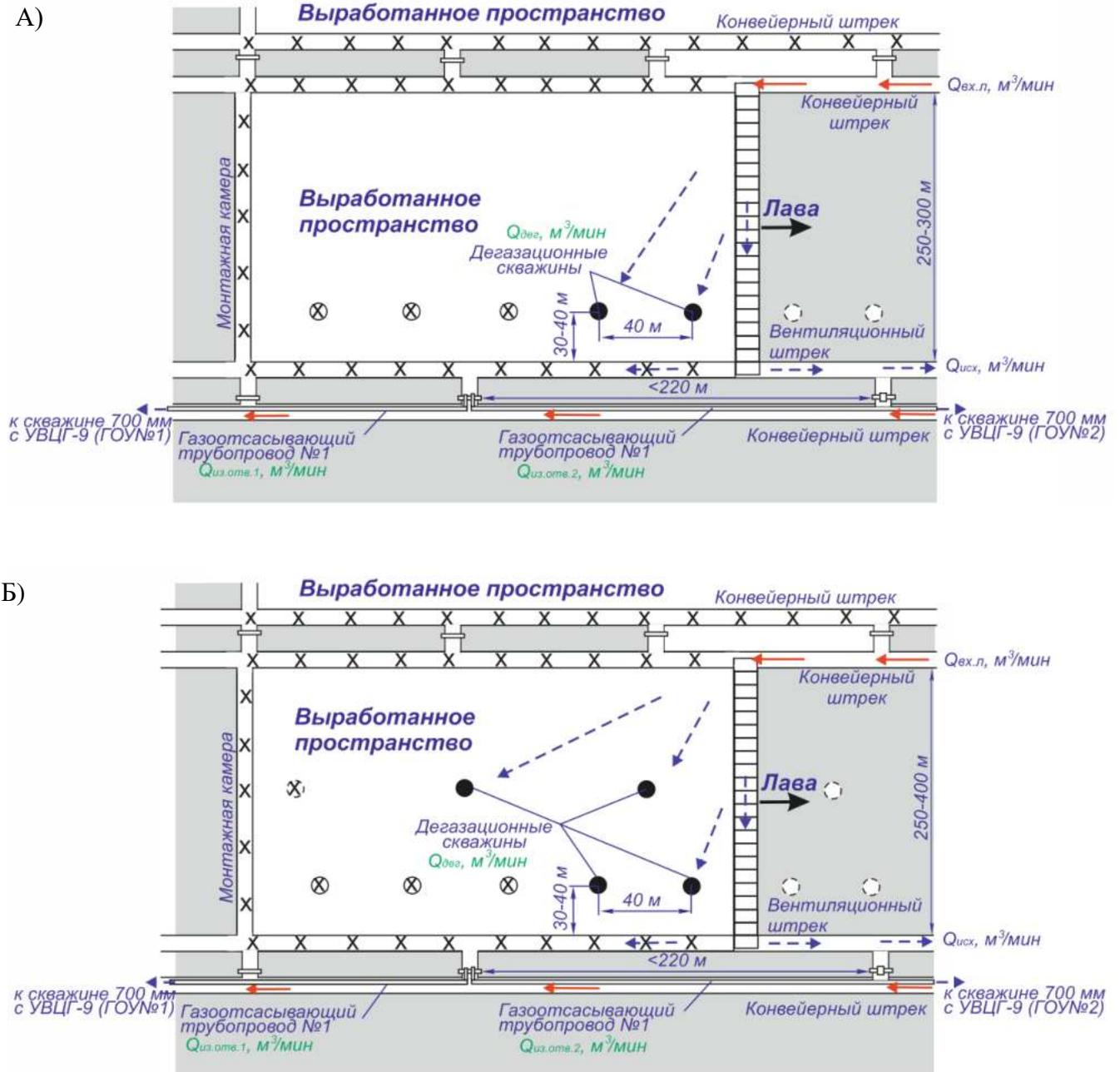


Рисунок 4.2 – Рекомендуемый вариант технологической отработки мощных газоносных пластов при газообильности выработанного пространства до 140 м³/мин: А) работа лавы вне зоны геологических нарушений; Б) работа лавы в зонах влияния геологических нарушений

При использовании рассматриваемой технологической схемы и подходе лавы к зоне геологических нарушений рекомендуется бурение дополнительного ряда скважин с расстоянием между скважинами 80 м при одновременной работе одной или двух скважин (определяется газообильностью выработанного пространства). Применение такого варианта технологической схемы (рисунок 4.2, Б) обеспечивает эффективное газуправление на выемочном участке при газообильности выемочных участков $250 \text{ м}^3/\text{мин}$ и более.

4.2 Оценка экономической эффективности разработанных рекомендаций

При выполнении оценки экономической эффективности были выполнены расчеты на реализацию базового и рекомендуемого варианта технологии интенсивной отработки запасов для условий пласта 52 Соколовского месторождения. Поскольку с увеличением глубины ведения горных работ изменяется ширина целиков и длина выемочных столбов, то расчет осуществлялся для усредненных условий подготовки: длина выемочного столба 3500 м, ширина межстолбового целика 30 м. Выполнение экономической оценки эффекта осуществлялось только по основным статьям затрат, существенно отличающихся в базовом и рекомендуемом вариантах.

В качестве базового варианта был принят вариант, предусматривающий подготовку выемочного участка с проведением вентиляционных сбоек между спаренными выработками через каждые 370 м; бурение двух рядов дегазационных скважин бурение сбоечных скважин через каждые 20 м для реализации изолированного отвода метановоздушной смеси; бурение двух рядов дегазационных скважин: первый ряд – вдоль вентиляционной выработки (конвейерного штрека) с расстоянием между скважинами 40 м, второй ряд – по центру выемочного столба - с расстоянием между скважинами 70 м. Данный вариант предусматривает прокладку одного газоотсасывающего става для изолированного отвода метановоздушной смеси.

В качестве рекомендуемого варианта рассматривался вариант подготовки выемочного участка с предельно возможным (установленной по результатам

исследований) расстоянием между вентиляционными сбоями – 220 м при отсутствии сбоечных скважин; бурение одного ряда дегазационных скважин, с расстоянием между скважинами 40 м. Рекомендуемый вариант предусматривает прокладку двух газоотсасывающих ставов для обеспечения повышенного расхода метановоздушной смеси и создания условий для обеспечения устойчивого расхода изолированного отвода за счет расположения скважин для отвода метановоздушной смеси в разных частях выемочного столба.

Результаты расчета затрат по рассматриваемым вариантам представлены в таблице 4.1. Как видно из таблицы 4.1 стоимость реализации рекомендуемого варианта на 140 млн. руб. (31%) меньше чем базового. При незначительном увеличении затрат на изолированный отвод метановоздушной смеси (в результате бурения двух дегазационных скважин большого диаметра) обеспечивается снижение затрат на бурение дегазационных скважин с земной поверхности за счет уменьшения их количества.

Реализация рекомендуемого варианта интенсивной отработки запасов в зонах интенсивной геологической нарушенности (рисунок 4.2, Б) также обеспечивает экономическую эффективность разработанных рекомендаций за счет увеличения расстояния между скважинами до 80 м. При этом экономический эффект от снижения затрат реализации разработанных рекомендаций будет зависеть от доли (%) выемочного участка с геологическими нарушениями. Так на рисунке 4.3 представлен график отражающий величину экономического эффекта от реализации разработанных рекомендаций в зависимости от доли выемочного столба, подверженной влиянию геологических нарушений для условий: глубина ведения работ 300 м.

Как видно из рисунка 4.4 увеличение доли участка с нарушениями снижает эффект от применения разработанных рекомендаций вследствие необходимости бурения дополнительного ряда дегазационных скважин. В рассматриваемых условиях отработки мощных пологих пластов Соколовского месторождения доля выемочного участка с нарушениями составляет от 10 до 25%.

Следует отметить, что затраты на реализацию базового и рекомендуемого способов существенно изменяются с изменением глубины ведения горных работ, что обуславливается изменением длины бурения дегазационных скважин и длины сбоечных дегазационных скважин и сбоев – вследствие изменения ширины межстолбовых целиков. На рисунке 4.4 представлена зависимость эффекта от реализации рекомендуемого способа при отсутствии геологических нарушений от глубины ведения горных работ.

Следует отметить необходимость обеспечения комплексного освоения ресурсов недр и в частности утилизации метана [26-27, 29-30, 42, 46, 47, 55, 57, 59] и в качестве недостатка применения схем с изолированным отводом значительных объемов метановоздушной смеси указать, тот факт, что удаляемые смеси малопригодны для утилизации вследствие низкой концентрации метана и в случае утилизации метана следует рассматривать эффект от его использования при оценке целесообразности увеличения объемов бурения дегазационных скважин. Однако, в связи с тем, что в настоящее время при отработке запасов Соколовского месторождения утилизация метана не применяется этот вопрос в рамках данной работы не рассматривается.

Как видно из рисунка 4.4 с увеличением глубины ведения горных работ от 200 м до 600 м экономический эффект от внедрения разработанных рекомендаций составит от 91 до 300 млн. руб. на выемочный столб длиной 3500 м при отсутствии зон геологических нарушений. С учетом реальной геологической нарушенности мощных пластов Соколовского месторождения экономический эффект составит от 68 до 255 млн. руб. на выемочный столб.

Таблица 4.1 – Сравнение затрат на реализацию вариантов технологических схем

Статья расходов	Количество	Длина, м	Суммарная длина, м	Стоимость, руб/ 1 м (руб/шт)	Стоимость, руб	Стоимость, млн руб
Базовый вариант						
Бурение сбоечных скважин	175	30	5250	1600	8400000	8,400
Проведение сбоек	9	30	284	50000	14189189	14,189
Переключение скважин	175			6000	1050000	1,050
Монтаж газоотсасывающего става	875	4	3500	900	787500	0,788
Бурение дегазационных скважин (ряд у вентиляционной выработки)	88	300	26250	10000	262500000	262,500
Бурение дегазационных скважин (ряд по центру столба)	50	300	15000	10001	150015000	150,015
Итого						439,304
Рекомендуемый вариант						
Проведение сбоек	16	30	477	50000	23863636	23,864
Переключение скважин	16			6000	95455	0,095
Монтаж газоотсасывающего става	1750	4	7000	1100	1925000	1,925
Бурение дегазационных скважин (ряд у вентиляционной выработки)	88	300	26250	10000	262500000	262,500
Бурение дегазационных скважин для изолированного отвода	2	300	600	17000	10200000	10,2
Итого						298,584

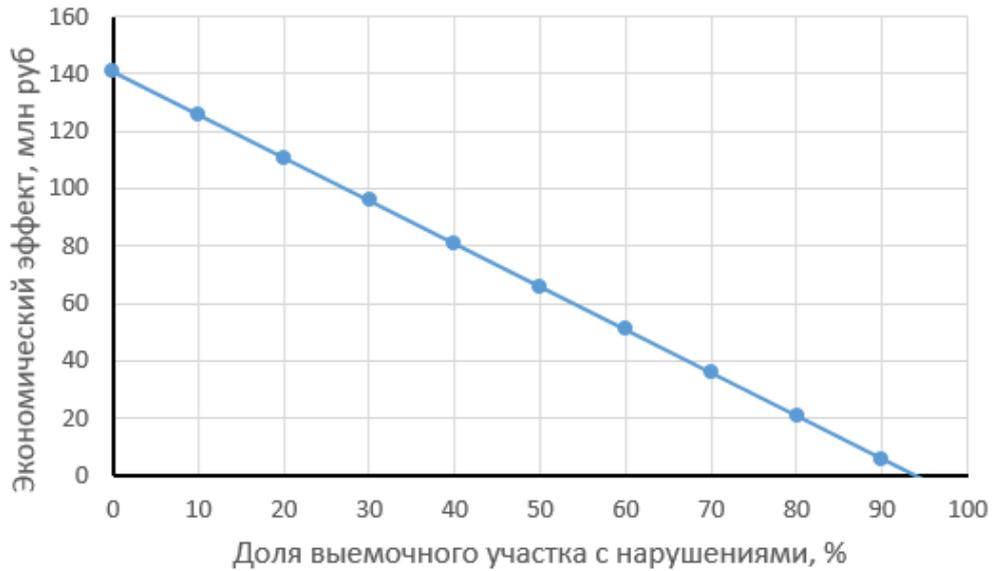


Рисунок 4.3 – Зависимость величины экономического эффекта от доли выемочного участка с геологическими нарушениями

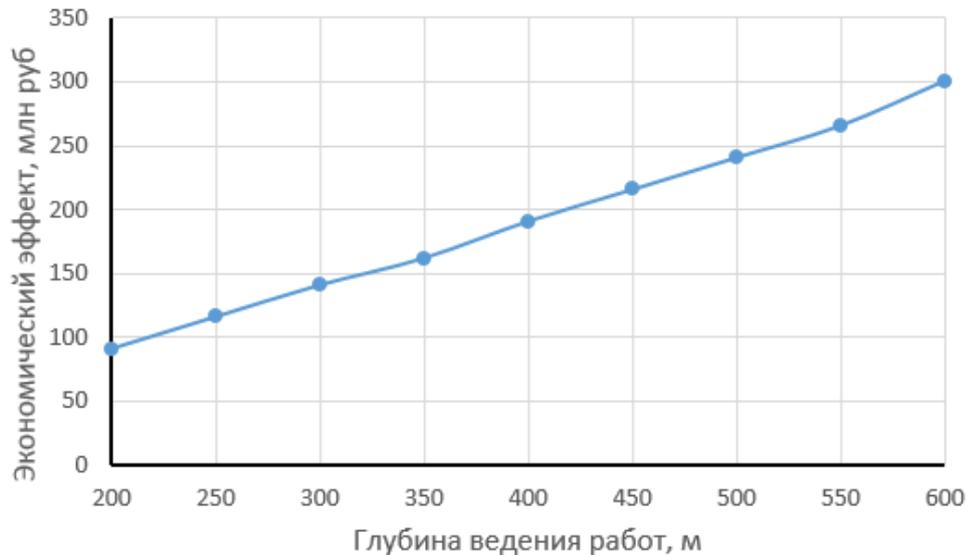


Рисунок 4.4 – Зависимость экономического эффекта от глубины ведения горных работ

4.3 Выводы по четвертой главе

1. В качестве базового варианта технологической схемы интенсивной отработки мощных пологих газоносных угольных пластов рекомендуется вариант, предусматривающий делание шахтного поля на выемочные участки с длиной лавы 300 м, длиной выемочного столба до 6,5 км, подготовку выемочного участка спаренными выработками с проведением вентиляционных сбоек между

ними на расстоянии не более 220 м, применение комбинированной схемы проветривания с изолированным отводом метановоздушной смеси с использованием вентиляторов УВЦГ-9 через ближайшую заднюю сбойку с использованием двух газоотсасывающих трубопроводов проложенных от дегазационных скважин, пробуренных в противоположных частях выемочного участка и дегазации выработанного пространства с использованием одного ряда дегазационных скважин при одновременной работе двух дегазационных скважин.

2. В пределах зон влияния геологических нарушений при высокой геологической нарушенности и превышении газообильности выработанного пространства $140 \text{ м}^3/\text{мин}$ рекомендуется при реализации базового варианта проводить бурение дополнительного ряда дегазационных скважин в центре выемочного столба с расстоянием между скважинами 80 м.

3. Область применения варианта технологической схемы отработки мощных пологих газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов ограничивается глубиной ведения горных работ 600 м, что обусловлено возможностями обеспечения эксплуатационного состояния вертикальных дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности. Указанное ограничение подтверждается как действующими нормативными документами, так и анализом зарубежного опыта применения дегазации выработанного пространства.

4. Выполненные технико-экономические расчеты позволили сделать вывод о том, что с учетом реальной геологической нарушенности мощных пластов Соколовского месторождения экономический эффект от применения разработанных технологических схем составит от 68 до 225 млн. руб. на один выемочный столб длиной 3500 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи обоснования параметров технологических схем интенсивной отработки мощных пологих газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов, обеспечивающих эффективность и безопасность ведения очистных работ.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований:

1. Интенсивная отработка мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов со снятием ограничений нагрузок на очистной забой по газовому фактору на глубинах до 600 м может быть обеспечена при применении комбинированной схемы проветривания выемочных участков с эффективным изолированным отводом метановоздушной смеси по ограниченной части выработанного пространства и дегазацией выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности. Параметры схем подготовки и управления газовыделением при этом должны определяться с учетом газообильности выработанных пространств выемочных участков в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях.

2. Применение способа дегазации выработанного пространства дегазационными скважинами, пробуренными с земной поверхности, характеризуется высокой стоимостью бурения. Стоимость бурения дегазационных скважин на выемочных участках шахт, отрабатывающих мощные пласты Соколовского месторождения Кузбасса на глубинах свыше 330 м сопоставима, а на глубинах более 350 м - превышает стоимость проведения комплекса участковых подготовительных выработок.

3. В условиях Соколовского месторождения Кузбасса эффективное управление газовыделением при отработке мощных газоносных пластов вне зон геологических нарушений с применением комбинированной схемы проветривания обеспечивается при дегазации выработанного пространства одним рядом дегазационных скважин, при одновременной работе двух дегазационных

скважин при условии обеспечения эффективного изолированного отвода метановоздушной смеси [24].

4. Увеличение метанообильности выработанных пространств выемочных участков свыше 120 м^3 в минуту в зонах влияния геологических нарушений, а также снижение устойчивости скважин в указанных зонах обуславливают необходимость применения дополнительного ряда скважин, располагаемых в центре выемочного столба (или со смещением в сторону вентиляционной выработки) на расстоянии друг от друга 80 м [24].

5. “Достижение предельно допустимой концентрации метана в газоотсасывающем трубопроводе при изолированном отводе метановоздушной смеси через сбочные скважины является основным ограничивающим фактором для эффективного управления газовыделением с применением дегазации выработанного пространства с одним рядом дегазационных скважин” [24].

6. При интенсивной отработке мощных пологих газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса необходимым условием снятия ограничений нагрузок на очистной забой по газовому фактору является эффективное применение изолированного отвода метановоздушной смеси, которое обеспечивается при отводе через заднюю сбойку, отстающую от лавы не более чем на 220 м [24]. При этом расход метановоздушной смеси определяется газообильностью выемочного участка и эффективностью работы дегазационных скважин.

7. Повышение расхода метановоздушной смеси при изолированном отводе через заднюю сбойку свыше $600 \text{ м}^3/\text{мин}$ и более обеспечивает эффективное управление газовыделением при реализации рекомендуемой схемы расположения дегазационных скважин может быть обеспечено за счет применения вентиляторов УВЦГ-9 [24].

8. Качестве базового варианта технологической схемы интенсивной отработки мощных пологих газоносных угольных пластов рекомендуется вариант, предусматривающий делание шахтного поля на выемочные участки с длиной лавы 250-400 м, длиной выемочного столба до 6,5 км, подготовку

выемочного участка спаренными выработками с проведением вентиляционных сбоек между ними на расстоянии не более 220 м, применение комбинированной схемы проветривания с изолированным отводом метановоздушной смеси через ближайшую заднюю сбойку с использованием двух газоотсасывающих трубопроводов проложенных от дегазационных скважин, пробуренных в противоположных частях выемочного участка и дегазации выработанного пространства с использованием одного ряда дегазационных скважин при одновременной работе двух дегазационных скважин. Параметры проветривания и изолированного отвода при применении рекомендуемой технологической схемы определяются газообильностью выемочного участка.

9. Реализация разработанных рекомендаций позволяет обеспечить эффективную и безопасную интенсивную отработку мощных пологих газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов, а также получить экономический эффект от снижения затрат на дегазацию выработанных пространств и изолированный отвод метановоздушной смеси порядка 68-225 млн. руб. на выемочный столб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев, В.Б. Научно-методическое обеспечение проектных решений по дегазации шахт при интенсивной разработке высокогазоносных угольных пластов / В.Б Артемьев, А.Д. Рубан, В.Н. Захаров, В.С. Забурдяев // Записки горного института. - Том 198. - 2012. С.24-29.
2. Бабенко, А.Г., Лапин С.Э. Система газоаналитическая шахтная многофункциональная «Микон 1Р» - основа построения систем контроля и управления угольных шахт / А.Г Бабенко, С.Э. Лапин // Известия Уральского государственного университета. - 2005. - С.169-178.
3. Баймухаметов, Т.К., Горбунов С.М., Швец А.И. Подготовка и управление газовыделением выемочных участков при высокой нагрузке на очистные забои / Т.К Баймухаметов, С.М. Горбунов, А.И. Швец // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №7. - 2003. - С.376-388.
4. Виноградов, Е.А. Обоснование технологических схем интенсивной отработки пологих газоносных угольных пластов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Виноградов Евгений Александрович; ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет, - 2016. - 121 с. - Текст: непосредственный.
5. Виноградов, Е.А. Анализ газового баланса выемочного участка при интенсивной отработке газоносного угольного пласта // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» - 10-я. Материалы конференции: ТулГУ, Тула, - 2014, - Том 1, - С. 232-237.
6. Воронюк, Ю.С. Газообильность и нагрузка очистных забоев при высокопроизводительной выемке газоносных угольных пластов Кузбасса / Ю.С. Воронюк, Н.И. Устинов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №5. - 2001. - С.15-19.

7. Временное руководство по расчету первичного и последующих шагов обрушения пород кровли при разработке угольных пластов длинными столбами по простиранию в условиях Кузбасса. ВостНИИ, Кемерово. - 1973. - 26 с.

8. Герцен, А.И. Опыт управления газовыделением при отработке сближенных угольных пластов К10 и К12 ш. «Стахановская» ГП «Карагандауголь» / А.И. Герцен, К.С. Коликов, К.А. Николаев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №6. - 1996. - С.133-135.

9. Гурьянов, В.В. Взаимосвязь геологического строения газонасыщенных угленосных толщ и закономерностей изменения их напряженно-деформированного состояния при извлечении метана из угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1, - Том 12. - 2005. - С.214-224.

10. Долгоносов, В.Н. Основные положения методики комплексного управления геомеханическими и газодинамическими процессами шахт / В.Н. Долгоносов, Г.А. Пак, О.В. Старостина // Интерэкспо Гео-Сибирь. - 2013. - № 3 (Том 1). - С.112-115.

11. Документация на техническое перевооружение опасного производственного объекта ОАО «СУЭК-Кузбасс» Шахтоуправление Котинское.

12. Дополнения к «Руководству по проектированию вентиляции угольных шахт»: утв. 27.12.79/ Минуглепром СССР. - М.: Недра, - 1981. - 79 с.

13. Забурдяев, В.С. Метановыделение в очистных забоях при высоких нагрузках на лаву // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2006. - № 1 (Том 13). - С.195-211.

14. Забурдяев, В.С. Обоснование нижнего предела метаноносности подвергаемого дегазации угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1 (Том 13). - 2007. - С. 232-239.

15. Забурдяев, В.С. Метанообильность высокопроизводительных очистных забоев и способы ее снижения в условиях шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс»

/ В.С. Забурдяев, Е.В. Мазаник // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №12 (Том 11). - 2009. - С.101-109.

16. 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 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. - №11. - С.12-20.

17. Забурдяев, В.С. Метанообильность высоко-производительных очистных забоев и способы ее снижения в условиях шахт ОАО «СУЭК-КУЗБАСС» / В.С. Забурдяев, Е.В. Мазаник // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2009. - №12. - С.101-109.

18. Забурдяев, В.С. Эффективность дегазации выемочных участков при отработке сближенных угольных пластов на шахте им. С.М. Кирова (ОАО «СУЭК-КУЗБАСС») / В.С. Забурдяев, И.А. Новикова, В.С. Сметанин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - №10. - С.13-19.

19. Иванов, Ю.М. Дегазация угольных пластов при высоких нагрузках на очистной забой на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс». Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -№7. - 2011. - С.363-367.

20. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. 2-е изд., испр. – М.: ЗАО «НТЦ ПБ», - 2015. - 250 с.

21. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок». Серия 05. Выпуск 21. – М.: ЗАО «НТЦ ПБ». - 2015. - 128 с.

22. Иотенко, Б.Н. Прогноз метановыделения на выемочном участке при первичной посадке непосредственной и основной кровли // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: с. Науч. Тр. МакНИИ. - 2009. - №1 (23). - С. 24-38 с.

23. Казанин, О.И. Стоимостная оценка многоштрековых схем подготовки выемочных участков на шахтах ОАО «Воркутауголь» / О.И Казанин, М.М.

Зайцева, В.С. Иванов // М.: МГГУ. - Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1. - 2007. - С. 233-237

24. Казанин, О.И. Численные исследования аэрогазодинамических процессов для обоснования параметров подготовки выемочных участков при интенсивной отработке мощных пологих газоносных угольных пластов / О.И. Казанин, А.М. Черданцев, А.А. Сидоренко, В.Ю. Алексеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (специальный выпуск). - №4. - 2019. - С. 93-100.

25. Казанин, О.И. Выбор и обоснование способов управления газовыделением в условиях шахты «Котинская» АО «СУЭК-Кузбасс» / О.И. Казанин, А.А. Сидоренко, Е.А. Виноградов, А.М. Черданцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - №4 (5-1). - 2017. - С. 68-75.

26. Каледина, Н.О. Оптимальные режимы вентиляции газообильных угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №2. - 1998. - С.190-194.

27. Каледина, Н.О. Аэродинамические критерии эффективности извлечения метана из выработанных пространств действующих шахт / Н.О. Каледина, И.М. Аношина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №8. - 2004. - С.106-109.

28. Каледина, Н.О. Проблемы управления метановыделением на высокопроизводительных газообильных шахтах / Н.О. Каледина, А.В. Карпунин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2007. - № 1 (Том 13). - С.216-220.

29. Каледина, Н.О. Обоснование параметров систем вентиляции высокопроизводительных угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - С.261-271.

30. Каледина, Н.О. Промышленное извлечение метана на действующих угольных шахтах комплексной системой «вентиляция-дегазация» / Н.О. Каледина, В.А. Малашкина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1 (Том 13). - 2006. - С.376-388.

31. Калинин, С.И. Обоснование суточной добычи угля из лавы длиной 400 м в условиях шахты «им.В.Д.Ялевского» / С.И. Калинин, Г.Н. Роут, Ю.Н. Игнатов, А.М. Черданцев // Вестник Кузбасского государственного политехнического университета. - 2018. - №5. - С.27-34.

32. Карпов, В.М. Выбор технологической схемы дегазации высокогазоносных угольных пластов / В.М. Карпов, Т.В. Мешалова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №7. - 2011. - С.401-407.

33. Кобылкин, С.С. Обоснование метода расчета параметров вентиляции шахт на основе объемного моделирования аэрогазодинамических процессов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кобылкин Сергей Сергеевич; Москва. - 2011. - 161 с. - Текст: непосредственный.

34. Кобылкин, С.С. Обзор существующих средств программного обеспечения для моделирования вентиляции подземных сооружений и шахт / С.С. Кобылкин, О.В. Сологуб // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2009. - №12. - С.115-132.

35. Кожарский, П.В. Сравнительный анализ технико-экономических показателей и себестоимости добычи угля на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс». Записки Горного института. - Том 201. - 2013. - С.176-181.

36. Козырева, Е.Н. Некоторые особенности управления метанообильностью высокопроизводительного выемочного участка / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Н.Ю. Назаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - №9. - С.322-325.

37. Козырева, Е.Н. Определение параметров комплексного управления газовойделением // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2001. - № 5. - С.130-134.

38. Козырева, Е.Н. Зависимость динамики метанообильности очистного забоя от свойств отрабатываемого участка месторождения / Е.Н. Козырева, А.А. Рябцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2006. - № 1. - С.151-161.

39. Козырева, Е.Н. Уточнение технологических решений при проектировании выемочных участков и управлении газовыделением / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич // Вестник государственного технического университета. - 2014. - № 3. - С.28-32.

40. Козырева, Е.Н. Оценка технологической необходимости добычи метана на горных отводах шахт Кузбасса / Е.Н. Козырева, В.Г. Пестриков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2002. - №9. - С.99-101.

41. Колесниченко, И. Е. Аэродинамическое обеспечение метанобезопасных режимов вентиляции высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Колесниченко Игорь Евгеньевич; - Москва, - 2005. - 248 с. - Текст: непосредственный.

42. Коликов, К.С. Перспективный анализ способов дегазации / К.С. Коликов, Ю.Н. Бобнев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2007. - №1. - С.446-452.

43. Коликов, К.С. Эффективность дегазации при подработке мощного угольного пласта и методология оптимизации схем дегазации высокопроизводительных выемочных участков / К.С. Коликов, Ю.Н. Бобнев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2005. - №1. - С.283-287.

44. Коликов, К.С. Обоснование параметров комплексной дегазации разрабатываемого пласта / К.С. Коликов, М.Г. Лупий, М.А. Волков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №s-2-1, - 2011. - С.5-11.

45. Кормин, А.Н. Оценка фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №12. - Том 7. - 2009. - С.150-154.

46. Красюк, Н.Н. Перспективные технологии дегазации и добычи метана на шахтах центрального Кузбасса / Н.Н. Красюк, С.С. Золотых, С.Е. Решетов, Е.А.

Косьминов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2001. - №7. - С 34-37.

47. Кубрин, С.С. Разработка инструмента для определения необходимости применения дегазации и оптимизации расчета её эффективности / С.С. Кубрин, Е.И. Журавлев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - №6. - С.166-172.

48. Кудинов, Ю.В. Зависимость метанообильности очистного забоя от неравномерности добычи угля // Вестник по безопасности работ в угольной промышленности. - 2016. - № 3. - С.45-48.

49. Лупий, М.Г. Обоснование технологии комплексной дегазации выемочных участков при высокоинтенсивной разработке газоносных угольных пластов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лупий Михаил Григорьевич; - Москва, - 2010. - 155 с. - Текст: непосредственный.

50. Лупий, М.Г. Обоснование необходимой глубины дегазации разрабатываемого пласта / М.Г. Лупий, К.С. Коликов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №12. - Том 12, - 2009. - С 23-29.

51. Мазаник, Е.В. Совершенствование технологии дегазации угольных шахт на основе заблаговременной поэтапной подготовки шахтных полей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мазаник Евгений Васильевич; - Москва. - 2010. - 233 с. - Текст: непосредственный.

52. Малашкина, В.А. Анализ методов оценки эффективного использования дегазационных установок угольных шахт / В.А. Малашкина, И.Х. Мамедова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №57. - 2011. - С.413-423.

53. Мельник, В.В. Обоснование параметров дегазации при отработке пластов высокопроизводительными очистными комплексами / В.В. Мельник, Л.И. Шулятьева, А.В. Шабловский // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2010. - №1. - С.171-176.

54. Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт РД-15-09-2006 Москва ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность» - 2007. - 230 с.

55. Трубецкой, К.Н., Рубан А.Д., Забурдяев В.С. Методология обоснования способов и параметров дегазации угольных шахт / К.Н. Трубецкой, А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2011. - №1. С.3-11.

56. Нормативные требования по применению способов и схем проветривания угольных шахт. Серия 05. Выпуск 41. - М.: ЗАО «НТЦ ПБ». - 2016. -12 с.

57. Каледина, Н. О. Обоснование требований к промышленному извлечению метана из выработанных пространств угольных шахт / Н. О. Каледина, И. М. Аношина, С. Н. Молчанов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №3. - 2004. - С.15-17.

58. Пириева, Н.Н. Максимальная отработка запасов подземных угледобывающих предприятий / Н.Н. Пириева, В.В. Першин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - №1 (89). - 2012. - С.1-3.

59. Писаренко, В.М. Области использования различных схем управления газовыделением // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2004. - № 8. - С.248-252.

60. Подображин, А.С. Метанообильность и способы ее снижения в условиях шахт Кузбасса. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1. - Том 13. - 2006. - С.231-240.

61. Поздеев, И.А. Анализ геодинамических процессов и методов управления ими в зоне влияния очистных работ // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. - №4 (6). - 2013. - С.25-29.

62. Полевщиков, А.Я. Газокинетический паттерн разрабатываемого массива горных пород / А.Я. Полевщиков, Е.Н. Козырева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2002. - №11. - С.117-120.

63. Полевщиков, Г.Я. Влияние сдвижений прочных вмещающих пород на динамику метанообильности выемочного участка / Г.Я. Полевщиков, Н.Ю. Назаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2001. - №5. - С.121-125.

64. Положение об аэрогазовом контроле угольных шахт. Серия 05. Выпуск 23. 2-е изд., испр. – М.: ЗАО «НТЦ ПБ», - 2015. - 110 с.

65. Проект дегазации выемочных участков 52-09 и 5210 пласта 52. ОАО «НЦ ВостНИИ» Кемерово. - 2011. - 161 С.

66. Проект проветривания выемочного участка 52-10 пласта 52» ОАО «СУЭК-Кузбасс» Шахтоуправление «Котинское» ПЕ «Шахта «Котинская». - 2016. - 45 с.

67. Пучков, Л.А. Метанобезопасность высокопроизводительных выемочных участков / Л.А. Пучков, Н.Н. Красюк, С.П. Шайдо, В.Л. Пинскер // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №7. - 2006. - С.5-18.

68. Пучков, Л.А. Концептуальные подходы к обеспечению метанобезопасности угольных шахт России и СНГ на 2007-2010 гг. / Л.А. Пучков, С.В. Сластунов, Н.О. Каледина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1. - Том 13. - 2007. - С.9-36.

69. Разумняк, Н.Л. Оценка реструктуризации и технического уровня подземного способа добычи угля на шахтах Кузбасса / Н.Л. Разумняк, С.В. Шатиров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2000. - №4. - С.44-47.

70. «Рекомендации по расчету параметров проветривания выемочных участков 5209 и 5210 пласта 52 шахты «Котинская». Рекомендации НЦ ВостНИИ. - Кемерово. - 2012 г. - 35 с.

71. «Рекомендации по расчету параметров проветривания выемочного участка лавы 52-07 пласта 52 Шахты «Котинская»/ Рекомендации НЦ ВостНИИ. - Кемерово. - 2009 г. - 17 с.

72. «Рекомендации по расчету параметров проветривания выемочных участков, 5210 и 5211 пласта 52 Шахты «Котинская». Рекомендации НЦ ВостНИИ. - Кемерово. - 2010. - 46 с.

73. Рубан, А.Д. Основные положения по проектированию технологического процесса дегазации при подземной добыче угля и газа. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №S-1. - 2011. - С. 415-421.

74. Рубан, А.Д. Опыт извлечения и использования шахтного метана в России и ФРГ / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №9. - 2004. - С.155-159.

75. Рубан, А.Д. Потенциал шахтного метана: объемы извлечения и условия утилизации / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №12, - Том 11. - 2009. - С.346-358.

76. Рубан, А.Д. Совершенствование технологии управления метановыделением на высокопроизводительных выемочных участках / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2008. - №3. - С. 250-261.

77. Рубан, А.Д. Метанообильность шахт: интенсивность метановыделения, вспышки и взрывы метана / А.Д. Рубан, А.И. Субботин, В.С. Забурдяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №7. - 2000. - С.46-51.

78. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: Минуглепром СССР. - Макеевка: МакНИИ, - 1989. - 319 с.

79. Рыжков, Ю.А. Сравнительная оценка горно-геологических условий разработки, техники и технологии при подземном способе добычи угля в России и за рубежом / Ю.А. Рыжков, Е.В. Игнатов // Вестник КузГТУ. - 2006. - №1. - С.67-74.

80. Сагинов, А.С. О рациональном порядке отработки свиты газугольных пластов / А.С. Сагинов, К.Н. Вдилов, В.Я. Новиков, В.А. Садчиков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №7. - 1999. - С.65-67.

81. Свирко, С.В. Закономерности развития оседаний земной поверхности вкрест простирания лав при отработке пологих и наклонных пластов Кузбасса с высокими скоростями / С.В. Свирко, А.А. Ренев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - №6 (106). - 2014. - С.23-27.

82. Сластунов, С.В. Метанобезопасность угольных шахт России ключевая проблема угольной отрасли // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №S1, - 2011. - С.9-26.

83. Сластунов, С.В. Современные проблемы метанобезопасности при высокопроизводительной отработке угля / С.В. Сластунов, Г.Г. Каркашазе, К.С. Коликов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - №12. - Том 1. - С.202-210.

84. Сидоренко, А.А. Взаимосвязь геомеханических и газодинамических процессов на выемочных участках угольных шахт / А.А. Сидоренко, А.М. Черданцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №4 (5-1). - 2017. - С.195-203.

85. Сидоренко, А.А. Обоснование параметров управления метановыделением в выработки выемочных участков при интенсивной разработке свит газоносных угольных пластов / А.А. Сидоренко, А.М. Черданцев, С.А. Сидоренко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2019. - С.224-233.

86. Сухоченков, А.С. Анализ работ по добыче метана из угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1. - Том 13. - 2006. - С.354-364.

87. Технический проект доработки запасов пласта 52 Соколовского каменноугольного месторождения ОАО «СУЭК-Кузбасс» шахта «Котинская». - 2014 г. - С. 14-20.

88. Тимошенко, А.М. Анализ существующих методов прогноза метановыделения на выемочных участках. / А.М. Тимошенко, М.Н. Баранова, К.А. Тимошенко // Вестник научного центра по безопасности в угольной промышленности. - ВОСТНИИ - №2. - 2009. - С.65-79.

89. Трубецкой, К.Н. Особенности метановыделения в высокопроизводительных угольных шахтах / К.Н. Трубецкой, А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2011. - №4. - С.76-85.

90. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 25. – М.: ЗАО «НТЦ ПБ», - 2015. - 52 с.

91. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности и установлению категории шахт по метану и/или диоксиду углерода». Серия 05. Выпуск 34. 2-е изд., испр. – М.: ЗАО «НТЦ ПБ». - 2016. - 64 с.

92. Хакимжанов, Т.Е. Уменьшение загазованности лавы при выемке угольных пластов путем дегазации выработанных пространств / Т.Е. Хакимжанов, Г.Ю. Абдугалиева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2009. - №12. - С.110-120.

93. Харитонов, В.Г. Создание безопасных условий в высокопроизводительных очистных забоях / В.Г. Харитонов, А.В. Смирнов, А.В. Ремезов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. - №5. - 2006. - С.47-50.

94. Хлудов, С.И. Состояние дегазации на угольных шахтах Кузбасса / С.И. Хлудов, А.В. Ремезов, В.Г. Климов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. - №3. - 2007. - С.23-28.

95. Чаплыгин, Н.Н. Результаты исследования газодинамических процессов в метаноносном угольном массиве вблизи призабойного пространства лавы / Н.Н.

Чаплыгин, В.С. Забурдяев, И.А. Новикова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1. - Том 13. - 2006. - С.166-178.

96. Шевченко, Л.А. Пути повышения дегазации угольных пластов. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №S7. - 2011. - С.234-241.

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

98. Шинкевич, М.В. Анализ способов и схем управления метановыделением на выемочном участке // Вестник Кузбасского государственного университета. - 2014. - № 4 (104). - С.44-48.

99. Шинкевич, М.В. Динамика геомеханических процессов в призабойной части массива при движении длинного очистного забоя / М.В. Шинкевич, Н.В. Рябков, Е.Н. Козырева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2010. - №3. - С.356-359.

100. Шмат, В.Н. Проблемы управления газовыделением при высокопроизводительной отработке угольных пластов (на примере шахты им.С.М.Кирова) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - № 7. - С.396-398.

101. Шмидт, М.В. Снижение эмиссии угольного метана при разработке газоносных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №1. - Том 12. - 2005. - С.288-294.

102. Шувалов, Ю.В. Геомеханические и газодинамические процессы в угленосном массиве при высоких скоростях подвигания очистных забоев / Ю.В. Шувалов, Г.И. Коршунов, А.В. Монтиков, Р.С. Истомина, А.М. Суфияров, Е.П. Ютяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №6. - 2011. - С. 80-88.

103. Ярунин, С.А. Управление газодинамическим состоянием углепородного массива через скважины сложного профиля / С.А. Ярунин, А.С. Лукаш, Ю.Г. Анпилогов, В.В. Конарев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №7. - 2000.

104. Черданцев, А.М. Прогноз метановыделения на выемочных участках с учетом влияния геомеханических процессов. / А.М. Черданцев, А.А. Сидоренко // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2017. - № 5 (123). - С.106-111.

105. Best practice guidance for effective methane drainage and use in coal mines // ECE energy series No.31. United nations. New York and Geneva. - 2010. - 69 pp.

106. Cherdantsev, A.M. Selecting and substantiating placement schemes of vertical degassing drill holes in underground mining of series of gas-bearing coal seams // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) Volume 9, Issue 13. - 2018. - P. 1807-1814.

107. Esterhuizen, G. A methodology for determining gob permeability distributions and its application to reservoir modeling of coal mine longwalls / G. Esterhuizen, C. Karacan // NIOSH. Pittsburgh. - PA. - 2007. - P.11-19.

108. Karacan, C. Ö. Prediction of porosity and permeability of caved zone in longwall gobs. Transport in Porous Media. Volume 82. Issue 2. - 2010. - P 413–439.

109. Karacan, C.O. Modeling and prediction of ventilation methane emissions of U.S. longwall mines using supervised artificial neural networks National Institute for Occupational Safety and Health. Pittsburgh Research Laboratory. Pittsburgh. PA United States. - 2007. - P 1-17.

110. Karacan, C.Ö. Reservoir simulation based modeling for characterizing longwall methane emissions and gob gas venthole production / G.S. Esterhuizen, S. Schatzel, W.P. Diamond // International Journal of Coal Geology. - 2007. - №71. - P. 225-245.

111. Qin, R. Numerical simulation gob gas field of the roof tunnel drainage method // AGH Journal of Mining and Geoengineering. vol. 36. - № 3. - 2012. - P. 1-10.
112. Rao, Balusu. Strategic review of gas management options for reduced GHG emissions. / Srinivasa, Yarlagadda, Ting, Ren, Shi Su // CSIRO earth science & resource engineering. Roy Moreby. University of New South Wales. - 2010. - P.114-117.
113. Wang, K. Gas drainage practices and challenges in coal mines of China. / K. Wang, S. Xue // Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. - 2008. - P. 178-185.
114. Wedding, W. C. Multiscale modeling of the mine ventilation system and flow through the gob // Theses and Dissertations-Mining Engineering. - 2014. - 11 p.
115. Yuan, L. Computational fluid dynamics study on the ventilation flow paths in longwall gobs / L. Yuan, A.C. Smith, J.F. Brune // Proceedings of the 11th U.S./North American Mine Ventilation Symposium, University Park, Pennsylvania. - 2006. - P. 1-8.