

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)*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург–2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» и на базе АО «СУЭК-Кузбасс»

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент, профессор РАН

Казанин Олег Иванович

Официальные оппоненты:

Мельник Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, НИТУ «МИСиС», кафедра геотехнологии освоения недр, заведующий кафедрой

Семенцов Вячеслав Владимирович

кандидат технических наук, АО «НЦ ВостНИИ», лаборатория горной геомеханики, заведующий лабораторией

Ведущая организация - ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Защита диссертации состоится 28 декабря 2020 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.06 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 27 октября 2020 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



СИДОРОВ
Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы.

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 ОКМ 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 рациональных 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, склонных к самовозгоранию; 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 шахтных наблюдений, использованием современных апробированных методов исследований; удовлетворительной сходимостью результатов шахтных и численных исследований.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на: 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

бстатях – 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, (далее – Перечень ВАК), 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и идея работы, определены основные задачи исследований, описаны научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе приведен анализ горно-геологических и горнотехнических условий отработки газоносных угольных пластов Соколовского месторождения Кузбасса, анализ мирового опыта интенсивной отработки свит газоносных угольных пластов, выполнена оценка эффективности применяемых технологических схем, оценка газообильности выемочных участков при интенсивной отработке свит газоносных угольных пластов Соколовского месторождения, анализ литературных источников по обоснованию параметров технологических схем интенсивной отработки склонных к самовозгоранию газоносных угольных пластов.

Во второй главе приведены результаты шахтных исследований влияния параметров применяемых технологических схем и интенсивности отработки запасов, а также параметров схем дегазации и изолированного отвода метановоздушной смеси на предельно допустимую нагрузку на очистной забой для условий шахты «им. В.Д. Ялевского» АО «СУЭК-Кузбасс».

В третьей главе произведен выбор методики, обоснование расчетных схем и изложены результаты экспериментально-аналитических исследований методом конечных объемов

возможности снятия ограничений нагрузки на очистной забой по газовому фактору при интенсивной отработке свит газоносных пластов с различными параметрами схем дегазации выработанного пространства и изолированного отвода метановоздушной смеси.

В четвертой главе представлено обоснование параметров рекомендуемых технологических схем, обоснование параметров схемы дегазации выработанного пространства, обоснование параметров схемы изолированного отвода метановоздушной смеси и оценка экономической эффективности разработанных рекомендаций.

В заключении приведены основные результаты и выводы, полученные при проведении исследований.

Основные результаты исследований отражены при доказательстве следующих защищаемых положений:

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.

Горно-геологические и горнотехнические условия отработки мощных газоносных пластов Соколовского месторождения Кузбасса в целом характеризуются как благоприятные, что позволяет достичь очень высокой и даже рекордной интенсивности отработки запасов (рисунок 1). Вместе с тем, следует отметить наличие ряда факторов, осложняющих интенсивную отработку запасов: высокие водопритоки выработки выемочных участков, значительную метанообильность выемочных участков при интенсивной отработке запасов, склонность разрабатываемых пластов к самовозгоранию.

Интенсивная отработка мощных пластов 50 и 52 Соколовского месторождения в составе свит газоносных угольных пластов предопределяет высокий уровень газообильности выемочных участков, в газовом балансе которых газообильность выработанных пространств достигает 90% и более, что требует применения эффективных способов управления газовой выделением – использования комбинированной схемы проветривания с изолированным отводом метановоздушной смеси по ограниченной части выработанного пространства и дегазации выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности. Такой способ обеспечивает высокую интенсивность отработки запасов, однако, по мере увеличения глубины ведения горных работ затраты только на бурение вертикальных дегазационных скважин достигли величины затрат на подготовку выемочного участка (таблица 1).

Выполненный анализ используемых схем дегазации показал, что в условиях шахты «им. В.Д. Ялевского» (бывшие шахты «Котинская» и «№7») применялись совершенно разные схемы расположения дегазационных скважин (рисунок 2), но основной тенденцией по мере увеличения газообильности выемочных участков и интенсивности отработки запасов является увеличение числа рядов скважин и частоты бурения скважин в ряду. Анализ опыта применения различных вариантов расположения дегазационных скважин показал, что в настоящее время в различных по газообильности (от 90 до 260 м³/мин) и интенсивности (от 15 000 до 55 000 т/сут) отработки запасов условиях необоснованно применяется схема дегазации с двумя рядами дегазационных скважин.

Выполненный анализ эффективности работы дегазационных скважин при их различном расположении показал низкую эффективность работы дегазационных скважин дополнительного ряда при любых вариантах их расположения (рисунок 3). Таким образом, в условиях отсутствия методических рекомендаций наблюдается применение технологических схем характеризующихся

низкой эффективностью работы отдельных элементов схемы дегазации и при чрезвычайно высоких затратах на их реализацию.

В качестве эффективного инструмента по обоснованию параметров управления газовыделением на выемочных участках нами предлагается использование трехмерного моделирования аэрогазодинамических процессов с использованием метода конечных объемов (программный комплекс ANSYS/CFX), возможность и целесообразность применения которого подтверждаются его широким успешным использованием в последние годы как в России, так и за рубежом, для решения задач обоснования параметров схем проветривания и дегазации.

При проведении исследований была использована трехмерная аэрогазодинамическая модель выемочного участка, реализованная в масштабе 1:1, которая основывается на подходах других авторов к моделированию выемочных участков. Модель (рисунок 4) включает в себя: очистной забой, выработанное пространство, участковые подготовительные выработки, примыкающие к очистному забою, вертикальные дегазационные скважины, горизонтальные скважины, пробуренные через целик угля из параллельной выработки (или дегазационный став, заведенный за заднюю вентиляционную сбойку). Метанообильность выемочного участка моделировалась путем задания равномерного расхода метана из очистного забоя разрабатываемого пласта, подрабатываемого и надрабатываемого массива. Объемы метановыделения по источникам задавались по расчетными (прогнозными) и фактически установленными значениями, соответствующим определенному уровню нагрузки на очистной забой.

На рисунке 5 в качестве примера полученных результатов представлены поля распределения концентраций метана на выемочном участке 52-09 шахты «Котинская» при подаче на выемочный участок $2800 \text{ м}^3/\text{мин}$, изолированного отвода метановоздушной смеси с расходом $200 \text{ м}^3/\text{мин}$, дегазации выработанного пространства с использованием трех рядов скважин: ряд у вентиляционной выработки - 2 скважины с расходом по $80 \text{ м}^3/\text{мин}$; ряд у воздухоподающей выработки – 1 скважина с

расходом 35 м³/мин; один ряд со смещением от воздухоподающей выработки на 70 м – 1 скважина с расходом 35 м³/мин. Результаты моделирования соответствуют результатам шахтных наблюдений (рисунок 4) и подтверждают низкую эффективность работы ряда скважин, пробуренных вдоль воздухоподающей выработки, на долю которых приходится лишь 6% от всего объема метана, удаляемого дегазацией, при доле затрат на бурение этого ряда скважин 25%.

Аналогичные исследования были проведены для других отработанных участков, при этом расхождение с шахтными данными на участках вне влияния зон геологических нарушений составило не более 10%, что позволило осуществить моделирование для широкого диапазона горно-геологических и горнотехнических условий и определить схемы рационального расположения вертикальных дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности.

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 сбоями не должно превышать 220 м.

По мере увеличения глубины ведения горных работ и роста газообильности выемочных участков интенсивность отработки запасов пласта 52 в условиях Соколовского месторождения снижалась (рисунке 1). 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 требуемую эффективность изолированного отвода и приводят при

повышении интенсивности горных работ к достижению предельно допустимой концентрации метана в газоотсасывающем трубопроводе и в «кутке».

Для снятия ограничений нагрузок на очистной забой при отработке с рекордной для России интенсивностью запасов пласта 50 на шахте «им. В.Д.Ялевского» в 2017-2018 гг. был использован более эффективный способ изолированного отвода с использованием двух газоотсасывающих трубопроводов, заведенных за перемышку в задней вентиляционной сбойке и проложенных к дегазационным скважинам большого диаметра (700 мм), пробуренных на флангах выемочного участка, в устье которых установлены газоотсасывающие вентиляторы УВЦГ-9, каждый из которых обеспечивает удалением порядка 350-500 м³/мин (с учетом фактической депрессии трубопровода и скважин). Применяемая схема проветривания выемочного участка 50-03 представлена на рисунке 6.

Анализ опыта применения схемы изолированного отвода с использованием УВЦГ-9 при отработке пласта 50 (2017-2018 гг.), а также схемы с использованием смесительной камеры – при отработке выемочного участка 52-13 (2017-2018 гг.) позволили сделать вывод о необходимости сокращения расстояния между вентиляционными сбойками участков парных выработок которое составляет 370-430 м, поскольку по мере отхода лавы от сбойки на расстояние более 220 м все чаще отмечались случаи почти полной потери остаточного сечения погашаемой за лавой и используемой для изолированного отвода вентиляционной выработки, а также по мере роста отставания сбойки от лавы происходило повышение концентрации и объемов метана в газоотсасывающем трубопроводе, что приводило к снижению эффективности изолированного отвода (рисунок 7).

Для обоснования параметров изолированного отвода при использовании схемы дегазации с одним рядом дегазационных скважин были выполнены численные исследования с использованием разработанной аэрогазодинамической модели, которые позволили установить предельные возможности схемы

изолированного отвода с использованием сбоечных скважин и схемы с использованием вентиляторов УВЦГ-9 с учетом реально достижимых параметров изолированного отвода (таблица 2).

Численные исследования подтвердили возможность применения одного ряда дегазационных скважин вне зон влияния геологических нарушений при их рациональном расположении при условии изолированного отвода МВС в объеме не менее 600 м³/мин и необходимость ограничения расстояния между вентиляционными сбоями, поскольку увеличение расстояния с 220 до 280 м, при прочих равных условиях, приводит к превышению концентрации метана в газоотсасывающем трубопроводе.

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.

Выполненные шахтные исследования эффективности управления газовыделением на выемочных участках при интенсивной отработке свит газоносных угольных пластов показали низкую эффективность работы дополнительного ряда дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности, особенно в случае их расположения вдоль воздухоподающей выработки. Выполненные численные исследования влияния параметров рекомендуемых схем дегазации и изолированного отвода на эффективность управления газовыделением подтвердили результаты шахтных наблюдений и позволили установить, как возможность применения в определенных условиях схемы дегазации с одним рядом дегазационных скважин, так и рациональное расположение дополнительного ряда дегазационных скважин, а также возможности эффективного управления

газовыделением при различных схемах изолированного отвода метановоздушной смеси и их параметрах (таблица 2).

Следует отметить, что шахтными наблюдениями установлено существенное (в 2 раза и более) увеличение газообильности при отработке отдельных участков выемочных столбов (рисунок 8), характеризующихся повышенной геологической нарушенностью, что предопределяет необходимость повышения на таких участках эффективности управления газовыделением за счет изменения параметров применяемых схем дегазации.

Выполненные исследования позволили разработать технологические схемы, представленные на рисунке 9, позволяющие обеспечивать эффективное управление газовыделением при минимальных затратах на бурение вертикальных дегазационных скважин. Для разработанных технологических схем была выполнена укрупненная экономическая оценка их эффективности на основе расчетов затрат на реализацию базового и рекомендуемого варианта технологии интенсивной отработки запасов для условий пласта 52 Соколовского месторождения.

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 двух кустов сбоечных скважин через каждые 20 м (по две скважины) 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, бурение двух скважин большого диаметра для изолированного отвода с использованием вентиляторов УВЦГ-9. 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 3. Как видно из таблицы 3 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 9,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. Как видно из рисунка 10 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 11 представлена зависимость эффекта от реализации рекомендуемого способа при отсутствии геологических нарушений от глубины ведения горных работ.

Как видно из рисунка 11 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.

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, 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.

3. В условиях Соколовского месторождения Кузбасса эффективное управления 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.

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.

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.

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. 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 м³/мин и более обеспечивает эффективное управление газовыделением при реализации рекомендуемой схемы расположения дегазационных скважин может быть обеспечено за счет применения вентиляторов УВЦГ-9.

8. В качестве базового варианта технологической схемы интенсивной обработки мощных склонных к самовозгоранию 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 обработку 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, входящих в перечень ВАК:

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

2. Сидоренко, А.А. Взаимосвязь геомеханических и газодинамических процессов на выемочных участках угольных шахт / А.А. Сидоренко, **А.М. Черданцев**//ГИАБ.-2017.- №4 (5-1).- С. 195-203.

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

4. 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 КузГТУ.- 2018. - №5. - С.27-34.

5. 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 // ГИАБ(специальный выпуск) -2019.- №4. - С. 224-233.

6. 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 // ГИАБ (специальный выпуск). -2019.-№4. - С. 93-100.

В издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

7. Cherdantsev, A.M. Selecting and substantiating placement schemes of vertical degassing drillholes in underground mining of series of gas-bearing coal seams // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) -2018. -Vol.10. -Issue 13. - P. 1807-1814.

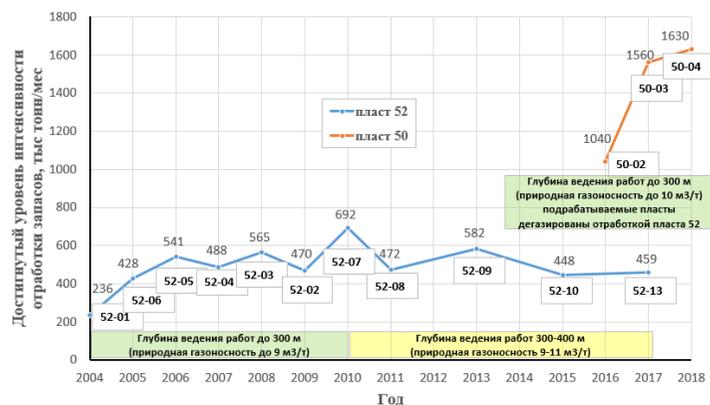


Рисунок 1 – Динамика изменения интенсивности отработки запасов выемочных участков

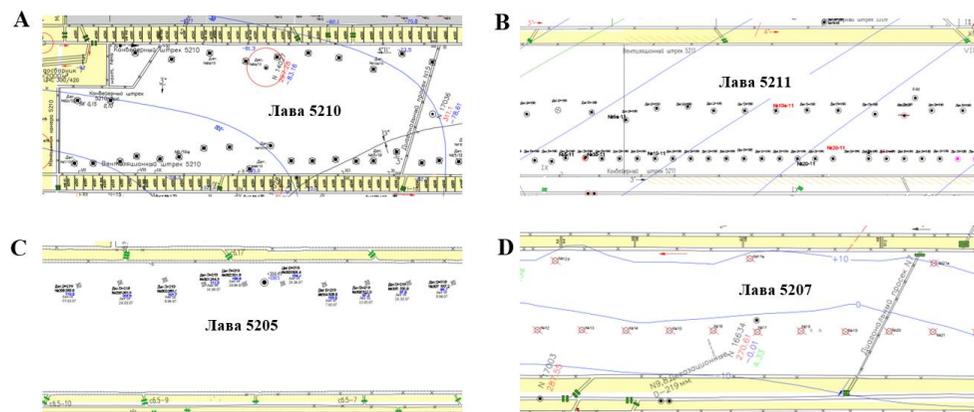


Рисунок 2 – Варианты расположения рядов дегазационных скважин при отработке пласта 52 на шахтах «Котинская» и «№7»

Таблица 1 – Сравнительный анализ затрат на бурение скважин и подготовку выемочных участков

| 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 |
| Количество скважин | - | 67 | 79 | 44 |
| Расстояние между скважинами в ряду скважин по центру | 70 | - | - | - |
| Количество скважин | 48 | - | - | - |
| Расстояние между скважинами в ряду скважин у воздухоподводящей 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 |



Рисунок 3 – Динамика объемов удаляемого из выработанного пространства метана с использованием вертикальных дегазационных скважин (выемочный участок 52-09)

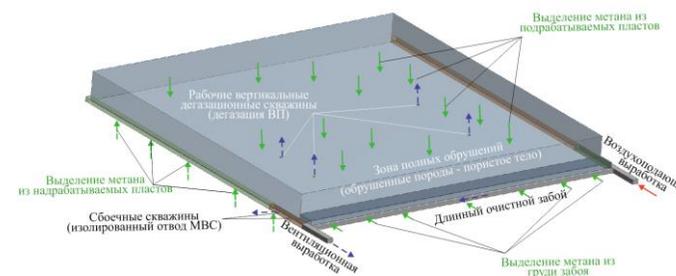


Рисунок 4 – Трехмерная аэрогазодинамическая модель выемочного участка

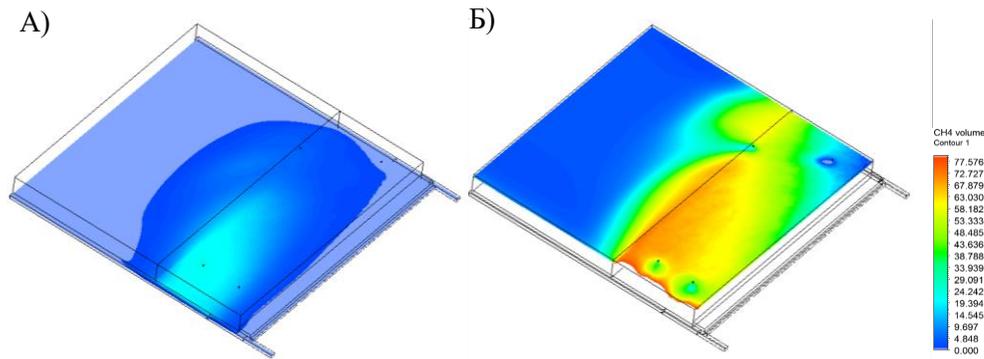


Рисунок 5 – Поля концентраций метана на выемочном участке:
 А) 2 м от почвы пласта; Б) 22 м от почвы пласта

2

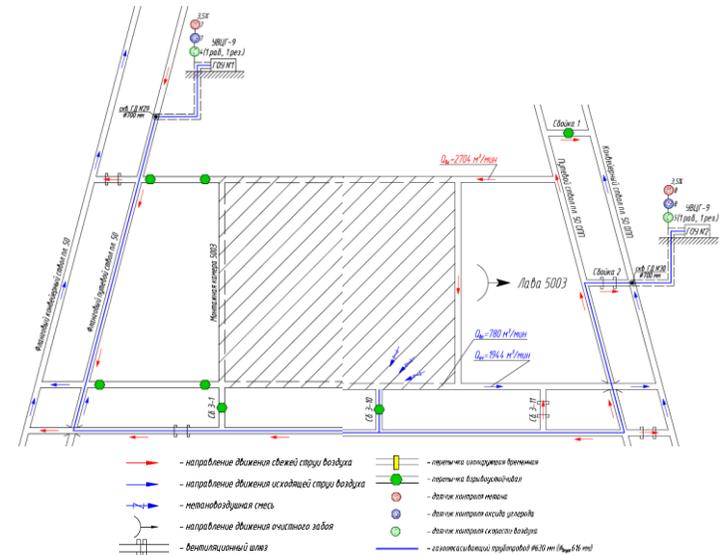


Рисунок 6 – Схема проветривания лавы 50-03 с использованием вентиляторов УВЦГ-9

Таблица 2 – Исходные данные и результаты численных исследований

| № | Исходные данные | | | | | Выходные параметры | | | | | | | | Примечание |
|---|--|------------------------------------|--|------------------------------------|------------|---|-------------------|-------|------------------------------|----------------------------------|------------|---------------------|-----------|--|
| | Схема дегазации | | Схема изолированного отвода | | Вентиляция | Концентрация метана, % | | | | Объемы удаляемого метана, м³/мин | | | | |
| | Параметры схемы дегазации | Расход метавоздушной смеси, м³/мин | Параметры схемы изолированного отвода | Расход метавоздушной смеси, м³/мин | | Расход воздуха в воздухоотводящей выработке, м³/мин | Исходящая из лавы | Кутюк | Газоотсасывающий трубопровод | Дегазация (св. 1, св. 2, ...) | Вентиляция | Изолированный отвод | Дегазация | |
| 1 | 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 | 150 | 2300 | 0,65 | 0,39 | 4,1 | 41,1 27,9 | 13,2 | 6,15 | 55,6 | 75 | Превышение допустимой концентрации метана в газотсасывающем трубопроводе |
| 2 | 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 м³/мин |
| 3 | Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м) | 80*2=160 | Оставание вент. сбойки 220 м | 700 | 2800 | 0,6 | 0,54 | 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 м³/мин |
| 4 | Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м) | 80*2=160 | Оставание вент. сбойки 220 м | 900 | 2800 | 0,61 | 0,63 | 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 м³/мин |
| 5 | Один ряд скважин вдоль вентиляционной выработки (2 раб. скв. через 40 м) | 80*2=160 | Оставание вент. сбойки 280 м | 900 | 2800 | 0,61 | 0,63 | 3,6 | 49 32,2 | 10,5 | 32,4 | 65,4 | 108,3 | Превышение допустимой концентрации метана в газотсасывающем трубопроводе |
| 6 | 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 м³/мин |

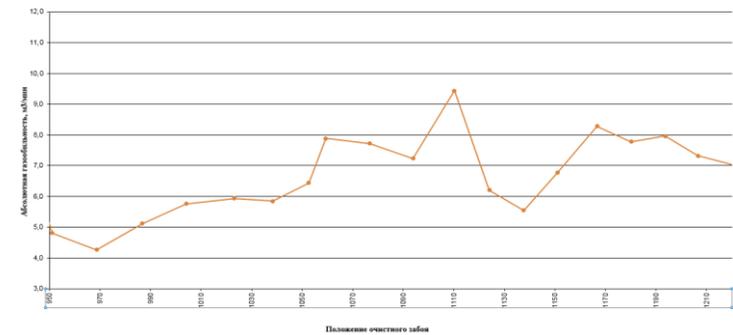


Рисунок 7 – Изменение объемов метана удаляемых изолированным отводом по мере увеличения расстояния от лавы до задней сбойки

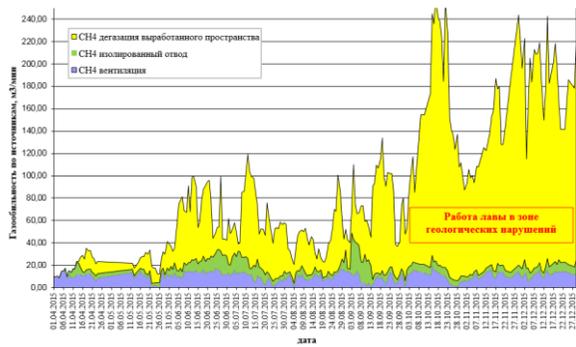


Рисунок 8 – Динамика газообильности по мере отработки запасов выемочного участка 52-10

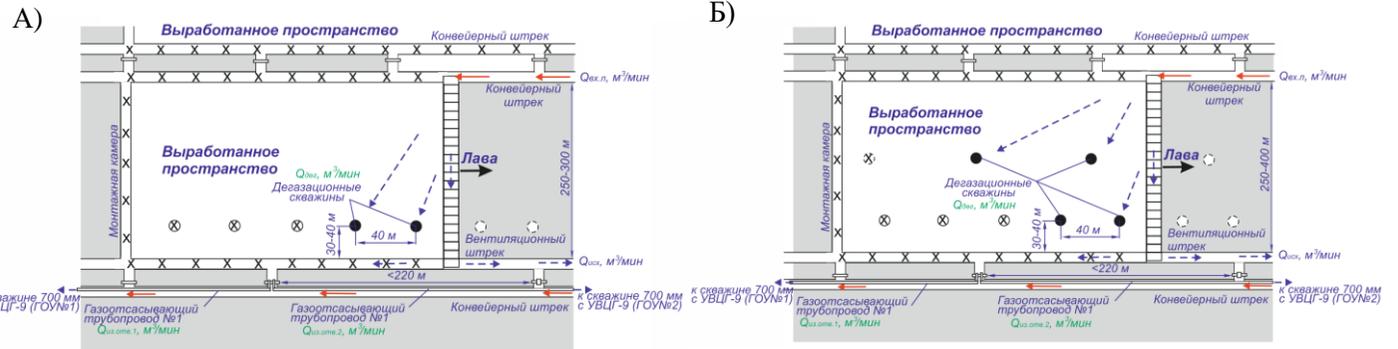


Рисунок 9 – Рекомендуемый вариант технологической схемы отработки мощных газоносных пластов: А) работа лавы вне зоны геологических нарушений; Б) работа лавы в зонах влияния геологических нарушений

Таблица 3 – Сравнение затрат на реализацию применяемого и рекомендуемого варианта технологической схемы

| Статья расходов | Количество | Длина, м | Суммарная длина, м | Стоимость, руб/ 1 м (руб/шт) | Стоимость, руб | Стоимость, млн руб |
|---|------------|----------|--------------------|------------------------------|----------------|--------------------|
| Базовый вариант | | | | | | |
| Бурение сбоечных скважины | 175 | 30 | 5250 | 1600 | 8400000 | 8,400 |
| Проведение сбоек | 9 | 30 | 284 | 50000 | 14189189 | 14,189 |
| Переключенные скважины | 175 | | | 6000 | 1050000 | 1,050 |
| Монтаж газототсасывающего става | 875 | 4 | 3500 | 900 | 787500 | 0,788 |
| Бурение дегазифицирующих скважин (ряд у вентиляционной выработки) | 88 | 300 | 26250 | 10000 | 262500000 | 262,500 |
| Бурение дегазифицирующих 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 |
| Переключенные скважины | 16 | | | 6000 | 95455 | 0,095 |
| Монтаж газототсасывающего става | 1750 | 4 | 7000 | 1100 | 1925000 | 1,925 |
| Бурение дегазифицирующих скважин (ряд у вентиляционной выработки) | 88 | 300 | 26250 | 10000 | 262500000 | 262,500 |
| Бурение дегазифицирующих скважин для изолированного отвода | 2 | 300 | 600 | 17000 | 10200000 | 10,2 |
| Итого | | | | | | 298,584 |

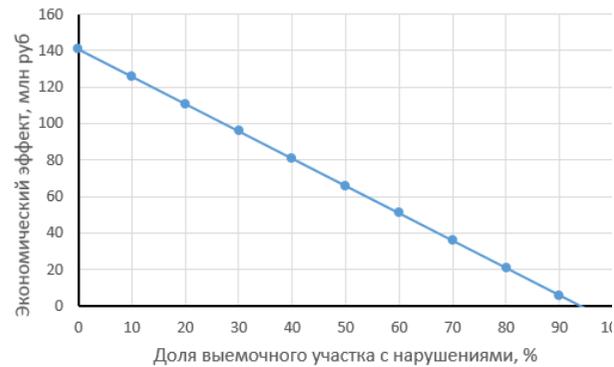


Рисунок 10 – Зависимость величины экономического эффекта от доли выемочного участка с геологическими нарушениями

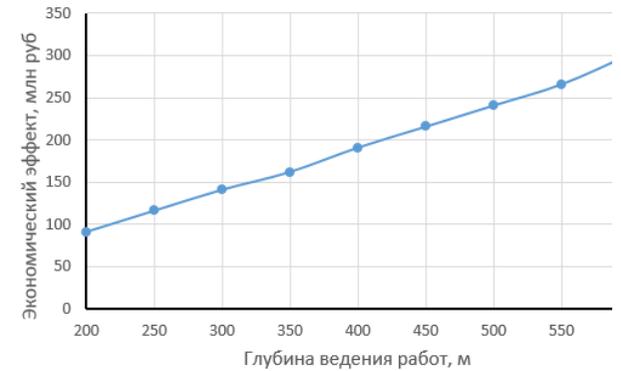


Рисунок 11 – Зависимость экономического эффекта от глубины ведения горных работ