

На правах рукописи

Гарашенко Жанна Максимовна



**КРИТЕРИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К
УНИФИЦИРОВАННОМУ ВЫЕМОЧНОМУ МОДУЛЮ
КОМПЛЕКСА С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ УСЛОВИЙ
ОТРАБОТКИ ЦЕЛИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины

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

Санкт-Петербург – 2025

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Габов Виктор Васильевич

доктор технических наук, профессор

Иванов Сергей Леонидович

Официальные оппоненты:

Шишлянников Дмитрий Игоревич

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Горная электромеханика», профессор;

Бочков Владимир Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», кафедра автоматизации и компьютерных технологий, заведующий кафедрой.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.

Защита диссертации состоится **17 сентября 2025 г. в 13:00** на заседании диссертационного совета ГУ.2 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 3321.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 17 июля 2025 г.

УЧЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Системы разработки угольных пластов длинными столбами с оставлением между выемочными участками неизвлекаемых ленточных целиков являются самыми распространенными на шахтах России. При этом потери угля в таких целиках могут достигать до 20 % от общего объема запасов в выемочном столбе. Вместе с тем, выемка таких целиков, например, на шахтах «Галдинская-Западная-1», «Полысаевская» и других по тем или иным причинам затруднена или невозможна в связи с ухудшением эксплуатационного состояния выработок и охраняемых объектов. Однако в ряде случаев можно выделить оставленные запасы, отработка которых технически возможна. К ним относят целики, выполнившие свои основные и вспомогательные функции, а именно оставленные между участковыми подготовительными выработками. Такие целики не требуют проведения капитальных выработок для их отработки.

Следует отметить, что неотработанные вовремя целики и другие малые участки запасов при погашении выработок ведут к увеличению экономических и материальных потерь. При этом применение стандартного шахтного оборудования, предназначенного для выемки основных запасов, неэффективно для отработки целиков в связи со спецификой технологии выемки малых участков, где высок объем подготовительно-заключительных работ в цикле выемки и малая интенсивность.

Снизить эксплуатационные потери в целиках, оставляемых между выемочными столбами для охраны участковых подготовительных выработок, возможно применением унифицированных выемочных модулей, имеющих малый размер, технологичных в монтаже и демонтаже, осуществляющих отработку целика локальными забоями, что требует выработки критериев и технологических требований к подобному роду унифицированным выемочным модулям.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами разработки технических средств и особенностями отработки целиков занимались такие ученые, как: Аушев Е.В., Буялич Г.Д., Бокий Б.В., Бреннер В.А., Габов В.В., Гребёнкин С. С., Дудин А. А., Ермакова И.А., Ефремов И.А., Ефременков А.Б., Жараспаев М., Зубов В.П., Ко-

стенко В.К., Лысенко М.В., Оглоблин Д.Н., Пилогин В.И., Прокопенко С.А., Семенцов В.В., Страданченко С.Г., Тихонов А.В, Хорешок А.А., Хорин В.Н., Ярошенко В.В., Kumar A., Kumar R. и другие исследователи. Ими были разработаны модели возможной отработки и доработки целиков с применением бурошнековой выемки, проходческих комбайнов, самоходных крепей, разработаны требования непосредственно к унифицированным выемочным модулям очистных забоев. Однако вопросам выработки критериев и на их основе параметров к унифицированным выемочным модулям комплексов, обеспечивающих снижение эксплуатационных потерь угля при системе разработки пологих угольных пластов длинными столбами, уделялось недостаточно внимания, что требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Объектом исследования является процесс отработки локального забоя исполнительным органом унифицированного выемочного модуля.

Предметом исследования является конструкция унифицированного выемочного модуля в составе комплекса при отработке угольных целиков в границах полей действующих шахт.

Цель исследования – обоснование параметров унифицированных выемочных модулей, обеспечивающих снижение эксплуатационных потерь угля при системе разработки пологих угольных пластов длинными столбами.

Идея исследования – для уменьшения эксплуатационных потерь угля при системах разработки пологих угольных пластов длинными столбами отработку межстолбовых целиков необходимо производить с применением унифицированных выемочных модулей, расположенных на одной линии с забоем лавы.

Для достижения цели исследований необходимо решение следующих **задач**:

1. Провести анализ и обобщение экспериментальных и теоретических исследований по теме диссертации.

2. Обосновать выбор структуры и параметров унифицированных выемочных модулей в составе очистного механизированного комплекса для отработки угольных целиков, возможных к извлечению в границах полей действующих шахт.

3. Оценить потенциальные риски, связанные с функционированием комплекса, и выбрать основные критерии, характеризующие унифицированные выемочные модули в составе очистного механизированного комплекса отработки целиков.

4. Провести оценку энергоемкости процесса внедрения скалы-вающего инструмента типа «пика» в уголь.

Научная новизна работы заключается:

1. В обосновании подхода к избирательной технологии отработки ленточных целиков, применением унифицированных выемочных модулей и порядком отработки локального забоя при обеспечении критериев защищенности и энергетической эффективности.

2. В установлении взаимосвязи формы инструмента и совершаемой им работы разрушения при отработке целика унифицированными выемочными модулями.

Соответствие паспорту специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности ВАК 2.8.8. Геотехнология, горные машины по пункту 14 «Критерии и технологические требования при создании новых и совершенствования применяемых горных машин с учетом особенностей условий их эксплуатации при разработке месторождений твердых полезных ископаемых» области исследования паспорта научной специальности.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Проведена систематизация и группировка целиков по их пригодности к извлечению, учитывающая их назначение, форму и геометрические параметры, расположение, возможность отработки.

2. Предложены структура процесса отработки целиков, пригодных к извлечению в пределах границ полей действующих шахт, и номенклатура параметров технических средств для осуществления этого процесса.

3. Установлено, что увеличение угла заострения инструмента типа «пика», вызванного его изнашиванием, способствует кратному повышению затрат энергии в 5 раз на внедрение инструмента в угольный массив.

4. Разработаны новые научно обоснованные технические решения, защищенные патентами: секция механизированной крепи (па-

тент № 211803 от 23.06.2022) и фронтальный очистной агрегат (патент № 214566 от 03.11.2022) для отработки участков в границах полей действующих шахт как по падению, так и по восстанию.

5. Результаты диссертационной работы планируются к использованию ООО «СПб-Гипрошахт» в проекте «Отработка запасов шахты Воргашорская с прирезкой блока 43-ю» (акт внедрения от 28.11.2024), в деятельности предприятия ООО «Городской институт проектирования металлургических заводов» в качестве вспомогательного оборудования и средств механизации трудоемких работ, а также планируются к использованию в виде технических предложений (акт внедрения от 26.01.2025) и в деятельности предприятия «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат» на ряде участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей при механизации трудоемких работ при выемке сильвинита (акт внедрения от 28.11.2024).

Методология и методы исследования. В работе применялся комплексный метод исследования, включающий как теоретические, так и экспериментальные исследования, обобщение результатов исследований по проблемам технологии подземной разработки угольных месторождений; обобщение опыта использования очистного оборудования, а также результатов ранее выполненных исследований разрушения горных пород статическим, динамическим воздействием; обработку экспериментальных данных; сопоставление расчетных и экспериментальных данных для реализации технических решений отработки целиков в угольных шахтах.

Положения, выносимые на защиту:

1. Отработка ленточных целиков унифицированными выемочными модулями со стопорными устройствами обеспечивается выемкой угля параллельными полосами по ширине локального забоя, равными шагу расстановки унифицированных выемочных модулей, с формированием уступной формы обрабатываемого забоя с количеством уступов 3 или более в зависимости от мощности пласта.

2. Основным критерием при создании унифицированного выемочного модуля комплекса отработки угольных целиков является энергетическая эффективность, определяемая отношением затрат энергии для отработки угольного забоя унифицированным выемоч-

ным модулем к работе штатной горной машины, затраченной на получение того же объема угля в подобных условиях эксплуатации.

3. Контроль гарантии защиты и надежности работы оборудования при отработке целиков с применением модуля реализуется на основе критерия защищенности, определяемого коэффициентами деформации кровли и прочности крепи, а так же коэффициентами относительной деформации сечения выработки и гарантированного отсутствия смещения модуля в период цикла отработки забоя, при этом каждый из этих коэффициентов должен быть меньше единицы.

Степень достоверности результатов исследования научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается применением современных апробированных методов исследований, включающих физическое моделирование процессов внедрения исполнительного органа унифицированного выемочного модуля в угольный массив; выполнением многокритериального анализа унифицированного выемочного модуля комплекса для отработки целиков; удовлетворительной сходимостью авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; применением сертифицированного оборудования при получении экспериментальных данных.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих конференциях: XXXI Международный научный симпозиум «Неделя горняка 2023» (Москва, 2023 г.); XXII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности» (г. Екатеринбург, 2024, 2025г.); II Международная научно-практическая конференция «Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородных ресурсов» (Санкт-Петербургский горный университет, «Химпром», 2023г.); 83 международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, 2025 г.).

Личный вклад автора заключается в участии на всех этапах процесса написания диссертационной работы, в постановке цели и задач исследования; разработке программы и методики лабораторных испытаний; разработке экспериментального стенда для определения процесса разрушения по характеру и диапазону затрачиваемых уси-

лий; в разработке схемных и технических решений состава очистного механизированного комплекса с унифицированными выемочными модулями для отработки целиков, возможных к извлечению; обработке и интерпретации экспериментальных данных; подготовке публикаций по результатам работы.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 3 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 (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 2 патента.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 124 наименования, и 3 приложений. Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков и 14 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую и искреннюю признательность первому научному руководителю д.т.н., профессору кафедры машиностроения Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II **Габову В.В.** за научное руководство и доброе отношение при работе над диссертацией.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована её актуальность, определены цель и задачи, раскрыта идея, научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования, изложены положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ и обобщение характеристик, признаков и видов целиков, технологий и технических средств для их отработки, существующих экспериментальных и теоретических исследований технологий, используемых для добычи угля в целиках. Выявлены проблемы, присущие отработке целиков. Проанализированы способы отработки, обобщены плюсы и минусы избирательной технологии отделения угля от массива и средств их осуществления. Показаны условия предельного состояния целиков.

Во второй главе проведена систематизация и группировка целиков шахт по их классификационным признакам. Приведены целики, возможные к извлечению. Приведен алгоритм оценки параметров комплекса для отработки угольных целиков, представлены основные требования к унифицированным выемочным модулям для отработки целиков, проанализированы алгоритмы оценки потенциальных рисков, связанных с функционированием комплекса, и определены основные критерии функционирования комплекса. Рассмотрен вопрос взаимодействия скальвающего инструмента типа «пика» с полупространством при его внедрении в забой.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований процесса взаимодействия инструмента унифицированного выемочного модуля с напряженными образцами моделей элементов угольного массива, а также с отдельными кусками каменного угля.

В четвертой главе обоснован рациональный способ отработки угольных целиков различных форм и размеров, пригодных для извлечения унифицированными выемочными модулями комплекса. Дано описание технических средств для его осуществления.

В заключении приводятся основные выводы и рекомендации, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых научных положениях:

1. Отработка ленточных целиков унифицированными выемочными модулями со стопорными устройствами обеспечивается выемкой угля параллельными полосами по ширине локального забоя, равными шагу расстановки унифицированных выемочных модулей, с формированием уступной формы обрабатываемого забоя с количеством уступов 3 или более в зависимости от мощности пласта.

Системный подход к отработке целиков и выбору значений параметров процесса отделения угля от массива в зависимости от влияющих на этот массив факторов позволяет классифицировать целики и разделить их на две основные группы по возможности безопасного извлечения (рисунок 1). Зеленым цветом показаны классификационные связи целиков, возможных к отработке, и средств, способных

осуществить эту обработку. К первой группе относят целики, обработка которых не допустима, основные и вспомогательные функции которых не заканчиваются. Ко второй группе относят угольные целики, которые можно безопасно обработать без осложняющих последствий с соблюдением особенностей проветривания (рисунок 2).

Обработка последней группы предусматривает задействование комплекса горного оборудования, состоящего из забойного конвейера, секций механизированной крепи (СМК) с длиной комплекса на три ширины секции крепи (две секции с учетом шага расстановки) больше, чем ширина обрабатываемого целика, где на секциях крепи (за исключением крайних) закреплены манипуляторы с исполнительным органом (рисунок 3). Секции крепи, как опорная база унифицированного выемочного модуля (УВМ), выполняют основные для ведения подземных работ функции – поддержание кровли, управление горным давлением, подвигание на забой, зачистка выработанного пространства. Шаг передвижки секции механизированной крепи больше шага обработки локального забоя и кратен ему.

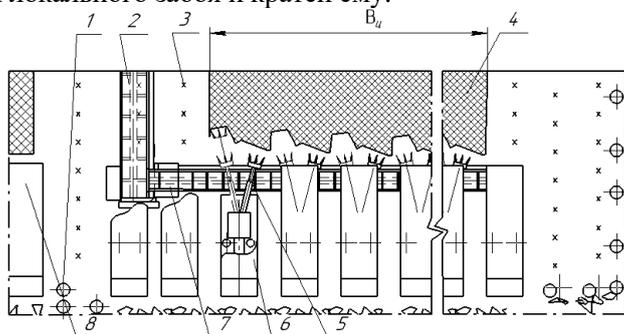


Рисунок 3 - Схема расстановки оборудования комплекса обработки целиков: 1 – стойки крепи выработок; 2 – перегружатель; 3 – положение анкеров; 4 – целик; 5 – исполнительный орган УВМ; 6 – секция механизированной крепи; 7 – забойный скребковый конвейер с режущей цепью; 8 – основной комплекс; $B_{ц}$ – ширина целика

Под локальным забоем понимается часть забоя, находящаяся непосредственно перед секцией крепи и обрабатываемая одним УВМ с учетом шага расстановки секции крепи. Параметры и технология ра-

бот в пределах локального забоя не изменяются или изменяются не существенно.

Как указывалось выше, УВМ представляет собой базовую конструкцию в виде секции механизированной крепи, которые располагают в забое, выемочного устройства в виде манипулятора с исполнительным органом, забойного скребкового конвейера.

На рисунке 4 показано воздействие суммарной силы реакции забоя, которая должна быть меньше или равна сумме силы трения по почве, кровле и сопротивлению, создаваемому стопорным устройством.

Стопорные устройства (Патент № 211803) располагаются на основании СМК и способствуют предотвращению незапланированных смещений. Помимо стопорного устройства также рационально применять уравновешенный исполнительный орган (Патент № 214566), который позволяет увеличить производительность.

При осуществлении избирательной технологии с применением УВМ при отработке локального забоя необходимо согласовывать значения параметров технологического процесса в локальных участках забоя со значениями используемых технических средств (рисунок 5), в частности: геометрических параметров локального забоя с параметрами СМК, при этом минимальная длина локального забоя равна глубине скола (a), максимальная за цикл – шагу передвижки СМК ($B_{п}$); подвигание локального забоя за цикл добычи – с шагом передвижки соответствующих СМК, установленных в забое, или с шагом перемещения части или всего комплекса за цикл по условию крепления кровли в забое.

Структура технологического процесса отработки локального забоя с отделением угля от массива структурными блоками в сечении – уступная. Число уступов может быть три (первый уступ – врубовая полость в зоне наибольшего отжима, второй и третий – сверху и снизу от места вруба) и более в зависимости от количества прослоев породы с отличными прочностными свойствами.

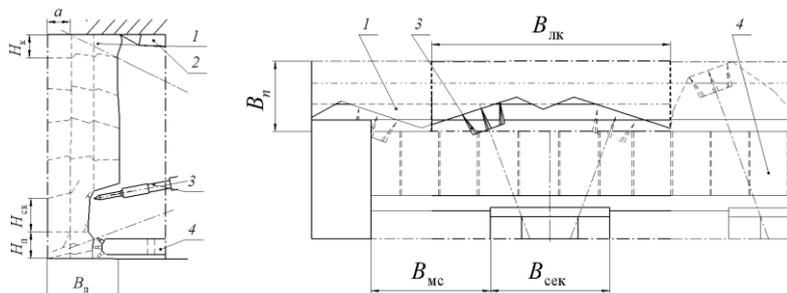


Рисунок 5 – Схема локального забоя, уступная технология:

1 – угольный массива; 2 – перекрытие СМК; 3 – исполнительный орган УВМ; 4 – зачистный скребковый конвейер с подрезающей цепью; $B_{лз}$ – ширина локального забоя; $B_{мс}$ – шаг расстановки секций крепи; $B_{сек}$ – ширина секции крепи

Время цикла единичного скола (1):

$$T_c = t_{п.н} + t_{п.б} + t_{ок} + t_{cki}, \quad (1)$$

где $t_{п.н}$ – время позиционирования исполнительного органа УВМ в исходном положении по мощности пласта, с; $t_{п.б}$ – время позиционирования исполнительных органов по ширине скола, с; $t_{ок}$ – время обратного хода исполнительного органа, с; t_{cki} – время i -го скола, с.

Время цикла отработки локального забоя модулем (2):

$$T_{ц.лз} = \frac{H_r - H_{кр} - H_{п}}{H_{ск}} \frac{B_{лз}}{b} T_c + t_b \left(\frac{H_r - H_{кр} - H_{п}}{H_{ск}} \right) = \frac{H_r - H_{кр} - H_{п}}{H_{ск}} \left(\frac{B_{лз}}{b} T_c + t_b \right), \quad (2)$$

где H_r – мощность целика, м; $H_{кр}$ – мощность, скалываемая козырьком крепи, м; $H_{п}$ – мощность, зачищаемая конвейером, м; $H_{ск}$ – мощность, скалываемая исполнительным органом, м; $B_{лз}$ – ширина локального забоя; b – ширина скола, м; t_b – время вспомогательных операций, с

Время цикла комплекса (3):

$$T_{ц.компл} = T_{ц.лз} \frac{B_{п}}{H_{ск}} + 2 t_{п}, \quad (3)$$

где $B_{п}$ – шаг передвижки секции крепи, м; $t_{п}$ – время передвижки комплекса, с.

Производительность теоретическая УВМ (4):

$$Q_{тер.УВМ} = \frac{B_{лз} H_r B_{п} \gamma}{T_{ц.компл}}, \quad (4)$$

где γ – плотность угля, т/м³.

Производительность теоретическая комплекса (5):

$$Q_{\text{тер.ком}} = Q_{\text{тер.УВМ}}(n_{\text{УВМ}} - 2)K_{\text{м}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{УВМ}}$ – количество унифицированных выемочных модулей; $K_{\text{м}}$ – коэффициент использования комплекса во времени.

Из основных требований к техническим средствам для обработки целиков следует выделить: модульность конструкции; технологичность при монтаже и демонтаже; высокий уровень унификации элементов конструкций и агрегатирования.

В качестве примера исполнения УВМ для условий слабо-наклонных угольных пластов средней мощности, необводненных, склонных к самовозгоранию, с устойчивой кровлей, можно привести следующие технические характеристики унифицированного выемочного модуля:

- минимальная высота секции 1,5 м;
- максимальная высота секции 3,3 м;
- рабочее давление 32 МПа;
- шаг передвижки секции крепи 0,6-1,0 м;
- шаг расстановки секций крепи 1-1,5 м;
- максимальный уклон в направлении движения забоя $\pm 10^\circ$;
- гидравлическая система – гидроблоки;
- глубина номинальная скола УВМ 100-300 мм;
- пределы регулирования скорости скалывания 0,1-0,5 м/с;
- исполнение: унифицированное, взрывобезопасное;
- тип исполнительного органа: скалывающий;
- производительность одного модуля: 45 т/ч;
- масса модуля: 600 кг.

2. Основным критерием при создании унифицированного выемочного модуля комплекса обработки угольных целиков является энергетическая эффективность, определяемая отношением затрат энергии для обработки угольного забоя унифицированным выемочным модулем к работе штатной горной машины, затраченной на получение того же объема угля в подобных условиях эксплуатации.

В работе рассмотрены алгоритмы оценки потенциальных рисков, связанных с функционированием комплекса. Приоритетность выбора наиболее значимых критериев существования и функционирования УВМ при обработке целиков строится на анализе диаграммы Иси-

кавы (рисунок 6), в которой были учтены критерии и соответствующие им признаки влияния на характеристику горных работ, в том числе и отработку целиков.



Рисунок 6 – Диаграмма Исикавы, связанная с проблемой отработки целиков

Значимость выбранных критериев «защищенность», «энергетическая эффективность», «экономичность», «производительность», «технологичность», «долговечность» анализировалась по двухэтапному оцениванию с помощью метода Делфи, где первый этап включал определение весовости критериев и нормализацию, а второй – определение их значимости для УВМ комплекса отработки целиков. Результаты полученных материалов были обработаны с учетом весовых коэффициентов и представлены на диаграмме (рисунок 7). По результатам оценки выявлены два наиболее значимых критерия: «энергетическая эффективность» и «защищенность».

Критерий «энергетическая эффективность» определяется отношением затрат энергии для отработки угольного забоя унифицированным выемочным модулем к работе штатной горной машины, затраченной в целях получения идентичного объема угля в аналогичных условиях (6):

$$K_{эф} = \frac{A_{уВМ}}{A_б}, \quad (6)$$

где $A_{\text{УВМ}}$ – работа одного унифицированного выемочного модуля, совершаемая для получения объема угля, добываемого в пределах шага передвижки; $A_{\text{Г}}$ – работа штатной горной машины, совершаемая для добычи аналогичного объема угля.

На основе сравнения работы, затраченной унифицированным выемочным модулем на отработку площади локального забоя и глубину, равную шагу передвижки ($A_{\text{УВМ}} = 25,92$ МДж), с соответствующей работой, совершаемой штатным очистным комбайном для пластов средней мощности, например СЛ500, для выемки аналогичного объема угля ($A_{\text{Г}} = 28,2$ МДж), получаем коэффициент энергетической эффективности, равный $K_{\text{эф}} = 0,92$. При этом $K_{\text{эф}}$ остается меньше единицы вплоть до ширины целика равным 90 м.

Одним из факторов, оказывающих отрицательное влияние на работу УВМ, является процесс изнашивания его исполнительного органа, а именно рабочего инструмента «пика». В связи с этим был проведен эксперимент по оценке энергоемкости процесса внедрения пика от исходного состояния с углом заострения 30° до предельного с углом заострения 90° .

Усилия внедрения, создаваемые инструментом, при внедрении в массив определяются углом заострения пика. Величины этих усилий определяются выражением (7):

$$F = \frac{N(2f \cos 2\alpha - (f^2 - 1) \sin(2\alpha))}{(\cos \alpha - f \sin \alpha)} \quad (7)$$

где F – сила внедрения в массив; N – реакция угля; f – коэффициент трения; α – половина угла заострения пика.

Эффективность применения скальвающего инструмента типа «пика» была оценена экспериментально. Для этого на поверенном оборудовании Zwick/Roell Z100, модернизированным столом для прессы (рисунок 8) были проведены экспериментальные исследования. Участок массива в напряженном состоянии моделировался (рисунок 8, а) предварительно нагруженным во взаимно перпендикулярных плоскостях блоком, состоящим из куска угля марки Д (Югра), залитым алебастром. Нагружение осуществлялось винтовыми зажимами. В результате внедрения пик в образец угля с углами заострения 90° и 30° получены графики нагружения образцов (рисунки 9, 10). При внедрении пика разрушение образцов сопровождалось образованием маги-

стральной трещины, распространявшейся по всей ширине образца. При снятии нагрузки образец развалился на отдельные куски.

Также аналогичные эксперименты были проведены на отдельно взятых кусках угля (рисунок 8, б). При внедрении пики разрушение образцов сопровождалось характерным звуком и появлением магистральной трещины, разрушающей образец на два крупных куска.

Полученные в результате проведения серий экспериментов графики нагружения образцов представлены на рисунках 11, 12. Сравнивая результаты экспериментов, учитывая схожесть процесса разрушения по характеру и диапазону затрачиваемых усилий, был сделан вывод об идентичности полученных результатов и возможности проведения дальнейших исследований на отдельных кусках угля.

В экспериментальных исследованиях энергетическая эффективность связана с усилием внедрения пики в уголь, а именно с образованием трещин для осуществления крупного скола. В зависимости от применяемого инструмента в виде пики изменяется и совершаемая им работа (рисунок 13). Оценка энергоёмкости процесса показала, что при затуплении пики до угла 90° эффективность внедрения падает в 5 раз, что подтверждается данными, полученными ранее по рассматриваемой тематике. Замену пик следует проводить при достижении угла заострения не более 45° .

3. Контроль гарантии защиты и надежности работы оборудования при отработке целиков с применением модуля реализуется на основе критерия защищенности, определяемого коэффициентами деформации кровли и прочности крепи, а так же коэффициентами относительной деформации сечения выработки и гарантированного отсутствия смещения модуля в период цикла отработки забоя, при этом каждый из этих коэффициентов должен быть меньше единицы.

Согласно теории Турнера-Шевякова «каждый целик воспринимает давление полного веса налегающих пород». Произведение площади выработанного пространства, приходящегося на целик, и предела прочности породы на одноосное сжатие определяет предельную величину напряженного состояния целика, при этом полученное усилие должно быть меньше суммы веса налегающих пород, приходящихся на один целик, и веса целика. На участках пласта, в которых

предел прочности породы на одноосное сжатие меньше максимального сжимающего напряжения, происходит потеря устойчивости целика. Таким образом, зная и контролируя предел прочности целиков, возможно осуществлять его отработку параллельно с основным комплексом, вплоть до полной отработки целика, включая безопасный демонтаж комплекса с переносом его на следующий участок и последующим монтажом.

Защита и надежность работы оборудования при ведении выработки комплексом УВМ оценивается критерием защищенности.

Критерий защищенности формируется техническими требованиями модуля и определяется совокупностью безразмерных коэффициентов: K_1 – коэффициент деформации кровли, равный отношению фактического смещения кровли U_ϕ к критическому смещению крепи $U_{кр}$ (для УВМ податливость секции не менее 800 мм); K_2 – коэффициент прочности крепи, равный отношению действующего напряжения в крепи σ_d к допустимому пределу прочности материала крепи R_d (пределу прочности материала крепи 690 МПа); K_3 – коэффициент относительной деформации сечения выработки, равный отношению допустимого сечения выработки S_d к фактическому сечению S_ϕ (сечения выемочных выработок должны соответствовать условиям транспорта и проветривания $S_{min} = 4,5 \text{ м}^2$); K_4 – коэффициент гарантированного отсутствия смещения модуля, который находится из отношения сил внедрения модуля $F_{ск}$, конвейера $F_{в.кон}$ и козырька крепи $F_{в.к}$ в забой к силе сопротивления секции крепи о почву и кровлю $N_p f_{тр.п}$, $N_p f_{тр.к}$ с силой сопротивления стопорного устройства $F_{ст}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = \frac{U_\phi}{U_{кр}} < 1 \\ K_2 = \frac{\sigma_d}{R_d} < 1 \\ K_3 = \frac{S_d}{S_\phi} < 1 \\ K_4 = \frac{F_{в.к} + F_{ск} + F_{в.кон}}{F_{ст} + N_p f_{тр.п} + N_p f_{тр.к}} < 1 \end{array} \right. \quad (8)$$

Каждый из этих коэффициентов должен быть меньше единицы, в этом случае защищенность гарантирована.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации содержатся новые научно обоснованные технические решения унифицированных выемочных модулей в составе очистного механизированного комплекса для отработки целиков пологих угольных пластов при системах разработки длинными столбами с обоснованием критериев и технологических требований к их применению, имеющие существенное значение для развития угольной отрасли страны.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа и обобщения существующих экспериментальных и теоретических исследований свойств, видов и характеристик целиков выделены группы целиков по возможности их отработки. В частности, отработка ленточных межстолбовых целиков параллельно с отработкой основного забоя позволяет сократить потери угля до 20 процентов от запасов в выемочном столбе.

2. Предложен вариант компоновки очистного механизированного комплекса, включающий унифицированные выемочные модули с базовой конструкцией на основе секции механизированной крепи поддерживающе-оградительного типа со стопорными устройствами.

3. Обосновано расположение комплекса для отработки в забое, указаны технические характеристики комплекса для отработки угольных целиков на одной линии с основным забоем.

4. Отработка целиков осуществляется параллельными полосами по ширине целика с шириной локального забоя, равной шагу расстановки унифицированных выемочных модулей, с формированием уступной формы обрабатываемого забоя и количеством уступов 3 или более, что позволяет обеспечить отработку ленточных целиков в зависимости от применяемой технологии.

5. Проведена оценка потенциальных рисков, характеризующих функционирование унифицированных выемочных модулей комплекса, обоснованы наиболее значимые критерии «энергетическая эффективность» и «защищенность».

6. Результаты экспериментальных исследований показали, что при затуплении пики до угла 90° эффективность её внедрения в уголь падает в 5 раз.

7. Контроль гарантии защиты и надежности отработки целиков модулем оценивается критерием защищенности, определяемым совокупностью четырех безразмерных коэффициентов, каждый из которых должен быть меньше единицы: деформации кровли и прочности крепи, относительной деформации сечения выработки и гарантированно-го отсутствия смещения модуля в период цикла отработки забоя.

8. Предложены новые научно обоснованные технические решения, защищенные патентами «Секция механизированной крепи» (Патент № 211803) и «Фронтальный очистной агрегат» (Патент № 214566).

9. Результаты исследования планируются к использованию ООО «СПб-Гипрошахт» в проекте «Отработка запасов шахты Воргашорская с прирезкой блока 43-ю»; будут использованы в виде технических предложений и рекомендаций к проекту «Усольский калийный комбинат», при отработке запасов сильвинита на Палашерском, Балахонцевском и Белопапшинском участках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей при механизации трудоемких работ; в деятельности предприятия ООО «Городской институт проектирования металлургических заводов» в качестве вспомогательного оборудования и средств механизации трудоемких работ.

10. Дальнейшим развитием исследований по теме диссертации является совершенствование структуры и выбор параметров механизированных комплексов избирательного действия для отработки целиков различных форм и размеров в пределах действующих полей шахт и рудников.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. **Гаращенко, Ж.М.** Технология, способы и технические средства отработки угольных целиков / Ж.М. Гаращенко, В.В. Габов, А.Ф. Прялухин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №15. – С. 151-156

2. Габов, В. В. Технология отработки целиков секционными унифицированными выемочными модулями / В. В. Габов, **Ж. М. Гаращенко** // Вестник Кузбасского государственного техниче-

ского университета. – 2024. – № 2 (162). – С. 100-107. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-100-107

3. Карпов, Ф.Д. Технология и технические средства избирательной отработки угольных целиков в пределах полей действующих шахт / Ф. Д. Карпов, В. В. Габов, **Ж. М. Гаращенко** // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 25. – С. 163-168. – DOI: 10.26160/2658-3305-2024-25-163-168.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

4. Габов, В. В. Обоснование структуры механизированного комплекса для отработки целиков угольных шахт / В. В. Габов, **Ж. М. Гаращенко** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 38–50. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_11_0_38.

5. **Гаращенко, Ж. М.** Отработка угольных целиков унифицированными выемочными модулями локальными забоями / **Ж. М. Гаращенко**, В. А. Теремецкая, В. В. Габов // Горная промышленность. – 2024; – №5S. – С.151–157. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5S-151-157.

Патенты:

6. Патент № 211803 Российская Федерация, МПК E21D 23/00 (2006.01); СПК E21D 23/00 (2022.05). Секция механизированной крепи. Заявка № 2022101970: заявл. 28.01.2022: опубл. 23.06.2022 / В.В. Габов, **Ж.М. Гаращенко**, А.В. Виленская; заявитель/ патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".- 9 с.

7. Патент № 214566 Российская Федерация, МПК E21D 23/00 (2006.01); СПК E21D 23/00 (2022.08). Фронтальный очистной агрегат. Заявка № 2022125481: заявл. 29.09.2022: опубл. 03.11.2022 / В.В. Габов, **Ж.М. Гаращенко**, А.В. Виленская; заявитель/ патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".- 9 с.

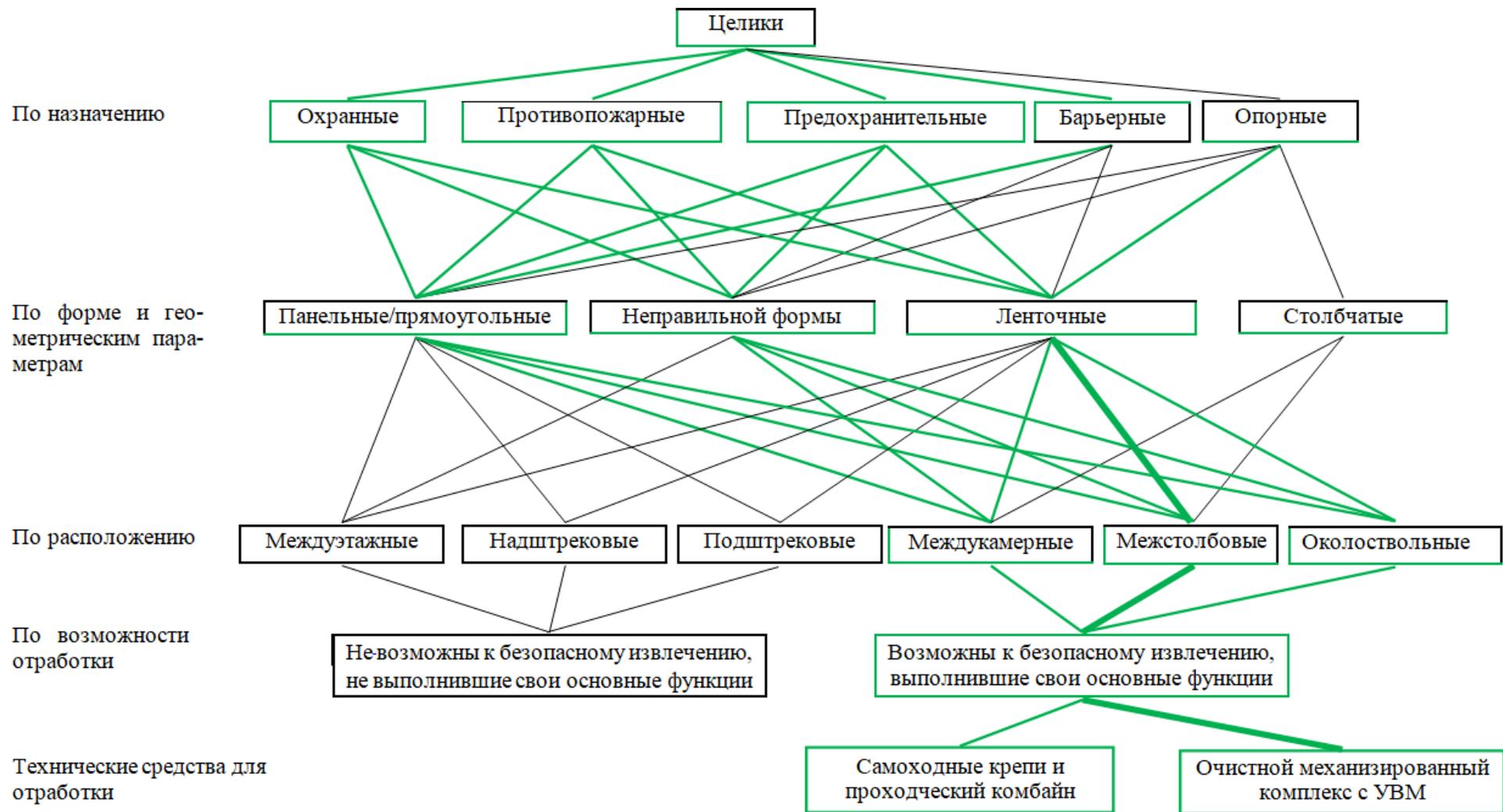


Рисунок 1 – Группирование целиков угольных шахт

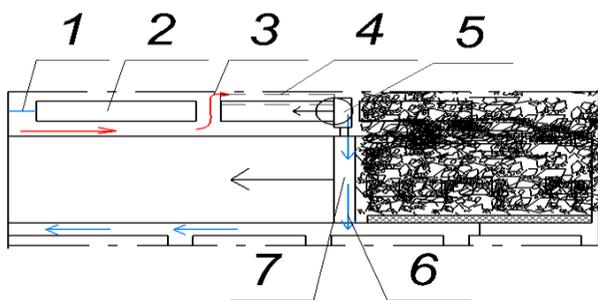


Рисунок 2 – Схема проветривания при обработке целиков УВМ комплексом

1 - перемычка для вентиляции; 2 - целик ленточный, оставляемый между выемочными участками; 3 - свежая струя воздуха; 4 - при необходимости возможно осуществление присечной выработки; 5 - УВМ комплекс; 6 - исходящая струя; 7 - основной комплекс

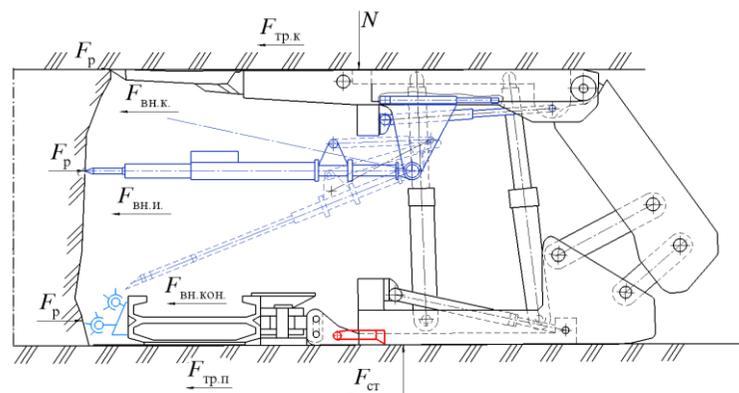


Рисунок 4 – Унифицированный выемочный модуль комплекса

$F_{ск}$ - сил внедрения модуля; $F_{в.кон}$ - сил внедрения конвейера; $F_{в.к}$ сил внедрения козырька крепи; $N, f_{тр.п}, N, f_{тр.к}$ - силы сопротивления секции крепи о почву и кровлю; $F_{ст}$ - сила сопротивления стопорного устройства

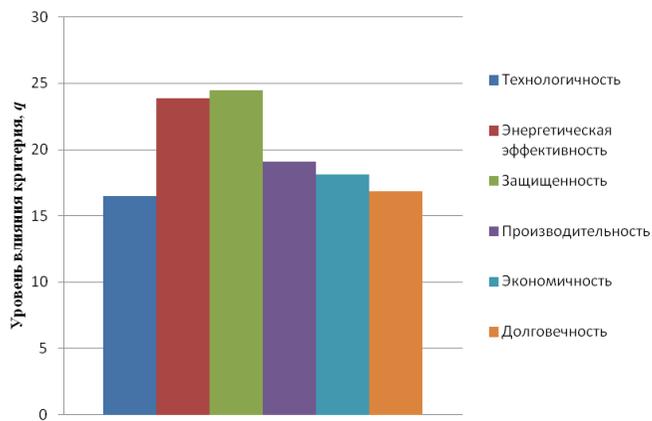


Рисунок 7 – Уровень значимости выявленных критериев

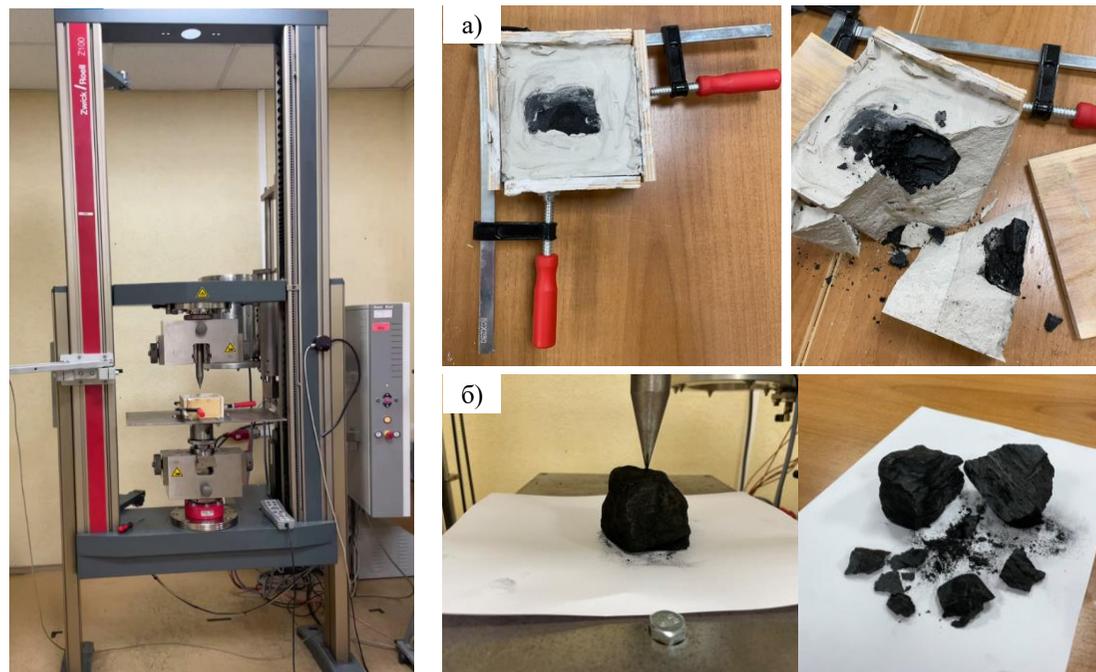


Рисунок 8 – Испытательная установка и образцы. а) Образец в напряженном состоянии до разрушения и после; б) Образец без напряжения до разрушения и после (кусок угля)



Рисунок 9 – Зависимость изменения силы внедрения и деформирования образцов в напряженном состоянии



Рисунок 10 – Зависимость изменения силы внедрения и деформирования образцов в напряженном состоянии



Рисунок 11 – Зависимость изменения силы внедрения и деформирования образцов

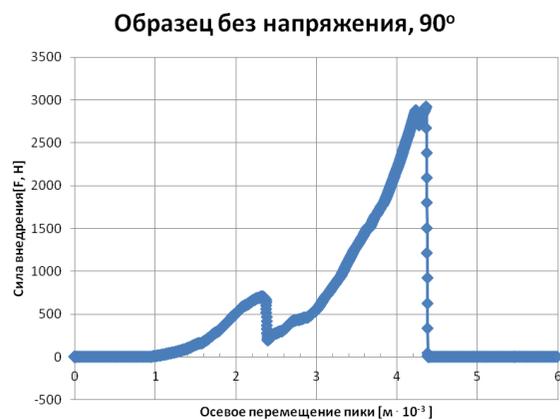


Рисунок 12 – Зависимость изменения силы внедрения и деформирования образцов

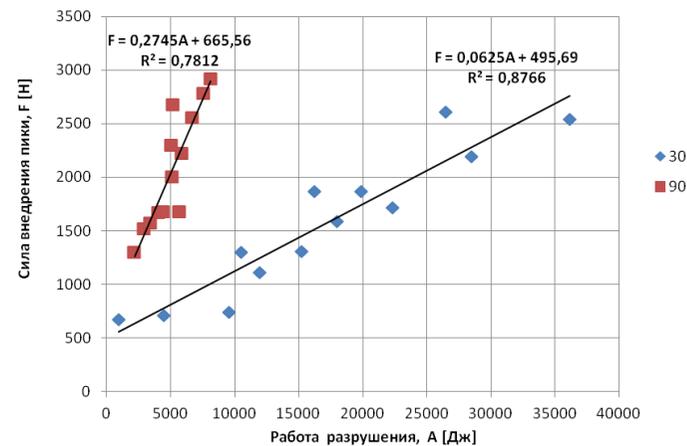


Рисунок 13 – Отношение силы к работе