

На правах рукописи



Будников Павел Михайлович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ
УСТЬЕВ НАКЛОННЫХ СТВОЛОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
АРЧНОЙ КРЕПЬЮ С МОНОЛИТНЫМ БЕТОНОМ**

Специальность

25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2019

Работа выполнена на кафедре «Строительства подземных сооружений и шахт» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Научный руководитель **Войтов Михаил Данилович**,
кандидат технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», кафедра «Строительство подземных сооружений и шахт»

Официальные оппоненты **Еременко Виталий Андреевич**,
доктор технических наук, профессор РАН
ФГБУН Институт проблем и комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН),
ведущий научный сотрудник

Быкадоров Алексей Иванович,
кандидат технических наук,
ООО «Сибирский институт геотехнических исследований» (ООО СИГИ)
генеральный директор

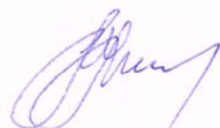
Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВО СФУ)

Защита диссертации состоится «04» октября 2019 г. в 11:00 ч. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.102.02 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» и на сайте: <http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/>

Автореферат разослан «10» июля 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



М. А. Тюленев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Угольная отрасль занимает одну из важнейших позиций в экономике России. За счет разработки и внедрения инновационных геотехнологий добычи и переработки угля увеличивается интенсивность горных работ, объемы добычи и экспортный потенциал.

Ведущим российским производителем и экспортером угля является Кузбасс. Добыча и экспорт кузнецких углей дают значительные поступления в бюджет, создают рабочие места и формируют инвестиционную привлекательность.

В то же время использования существующего комплекса проектных решений по способам и технологиям угледобычи ориентировано преимущественно на открытый способ разработки угольных месторождений, доля которого ежегодно увеличивается на 6–8 % и уже превысила 70 % в общем объеме. Это ведет к большим потерям и ускоренному исчерпанию запасов.

В связи с этим в новой стратегии развития угольной отрасли Кузнецкого бассейна до 2035 г. поставлена задача на разработку проектных решений, обеспечивающих увеличение добычи угля с применением подземного способа.

Особенностью горно-геологических условий угольных месторождений Кузбасса является то, что выходы пластов угля под наносы находятся на небольшой глубине, поэтому для сокращения продолжительности строительства новых шахт и повышения эффективности подземного транспорта, вскрытие и подготовка выемочных полей с 2000 года осуществляется преимущественно наклонными стволами.

В Кузбассе устья наклонных стволов обычно закладываются в четвертичных отложениях, в слабых, неустойчивых, часто обводненных породах. При этом устья крепятся монолитной железобетонной крепью, как правило, с обратным сводом, арочной или сводчатой форм поперечного сечения.

Анализ показал, что применяемые в настоящее время конструкции крепей устьев наклонных стволов имеют следующие недостатки:

- неравнопрочность конструкций из-за наличия перегруженных элементов крепи;
- работа конструкций сплошных крепей преимущественно в поперечном направлении выработки и недостаточность их работы в продольном направлении;
- излишняя материалоемкость конструкций крепей при обеспечении их необходимой несущей способности, из-за того, что не учитываются сжимающие и растягивающие зоны сплошных крепей горных выработок.

В этой связи совершенствование конструкции крепи и технологии крепления устьев наклонных стволов металлической арочной крепью с монолитным бетоном представляет актуальную научно-техническую задачу.

Работа выполнена в соответствии с грантом на проведение научных исследований по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологии в области рационального природопользования.

Цель работы состоит в обосновании и совершенствовании технологии крепления металлической арочной крепью с монолитным бетоном, обеспечи-

вающую снижение материало- и трудоемкость при строительстве устьев наклонных стволов.

Идея работы состоит в учете конструктивного обеспечения совместной работы металлической арочной крепи и арматурного каркаса в монолитном бетоне в процессе ее возведения и эксплуатации.

Задачи исследования:

- определить несущую способность металлической арочной крепи с монолитным бетоном в зависимости от класса бетона, толщины бетона, шага и номера спецпрофиля СВП, площади и класса арматурной сетки;
- установить способ снижения материалоемкости металлической арочной крепи с монолитным бетоном при сохранении ее несущей способности для устьев наклонных стволов, сооружаемых открытым способом;
- разработать эффективную технологию возведения металлической арочной крепи с монолитным бетоном при строительстве устьев наклонных стволов открытым способом.

Объект исследования. Строительство устьев наклонных стволов открытым способом, проводимых в породах четвертичного отложения с установкой металлической арочной крепи с монолитным бетоном, а также технологии ее возведения.

Предмет исследования. Совершенствование металлической арочной крепи с монолитным бетоном при максимальных изгибающих моментах, возникающих в середине вертикальных и криволинейных верхних частях крепи, а также технологии ее возведения.

Методы исследования. При выполнении работы использован комплексный метод исследований, включающий в себя анализ и научное обобщение ранее опубликованных работ по вопросам проектирования металлических крепей с монолитным бетоном, производственных данных строительства устьев наклонных стволов, обработка данных, полученных в лабораторных условиях, теоретические исследования, обработка лабораторных испытаний металлических рамных крепей.

Научные положения, защищаемые в диссертации:

- несущая способность металлической арочной крепи с монолитным бетоном обеспечивается классом бетона на 19,9 %, толщиной бетона на 5,9 %, шагом и номером спецпрофиля СВП на 39,7 %, классом арматурной сетки на 11,1 %, площадью гибкой арматуры на 23,4 %.
- размещение арматурной сетки в зонах растягивающих напряжений как со стороны кровли, так и со стороны боков при обеспечении необходимой несущей способности металлической арочной крепи с монолитным бетоном устья наклонного ствола позволяет снизить ее металлоемкость до 50,6 %.
- применение циклично-поточной технологии возведения металлической арочной крепи с монолитным бетоном, основанной на параллельном выполнении монтажа арматурного каркаса, секций инвентарной опалубки, укладки бетонной смеси, устройства гидроизоляции и последовательном выполнении отрывки котлована и его обратной засыпки позволяет повысить эффективность строительства устья наклонного ствола на 47 % от принятых

в настоящее время технологий.

Научная новизна работы заключается:

– в установлении соотношения несущей способности металлической арочной крепи с монолитным бетоном для устьев наклонных стволов в зависимости от толщины крепи, шага и номера спецпрофиля СВП (СВПУ), площади и класса гибкой арматуры и от класса бетона;

– в определении опытным путем несущей способности в жестком режиме металлических рамных крепей с изменением прямолинейных стоек на криволинейные;

– применение циклично-поточной технологии возведения металлической арочной крепи с монолитным бетоном, позволяет повысить эффективность строительства устья наклонного ствола.

Отличие от ранее выполненных работ. В совершенствовании металлической арочной крепи с монолитным бетоном, где максимальные изгибающие моменты возникают в середине вертикальных и криволинейных верхних частях крепи, а нулевые значения в зоне между концами армирующих сеток и узлов сопряжений элементов металлической арочной крепи с монолитным бетоном, причем максимальные растягивающие напряжения возникают только в армирующих сетках, что позволяет уменьшить размер спецпрофиля и количество рам крепи.

Практическое значение работы. Разработаны рекомендации по технологии крепления устьев наклонных стволов металлической арочной крепью с монолитным бетоном, которые утверждены АО «СУЭК-Кузбасс» и ООО «Сибирский Институт Горного Дела».

Обоснованность и достоверность научных результатов подтверждается корректной постановкой задач исследований, теоретическими расчетами и достаточным объемом экспериментальных исследований, положительным внедрением разработок на практике и последующей успешной эксплуатацией запроектированного с применением разработок автора участка наклонного ствола Магистральный Шахтоуправления имени А. Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс».

Реализация работы. Отдельные результаты и рекомендации диссертационной работы приняты ООО «Сибирский Институт Горного Дела» и Шаньдунским научно-техническим университетом (КНР).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; в анализе и научном обобщении материалов; в разработке и обосновании параметров металлической арочной крепи с монолитным бетоном для устьев наклонных стволов; в разработке технологической последовательности строительства устьев наклонных стволов; в формулировке выводов и разработке рекомендаций по технологии крепления устьев наклонных стволов металлической арочной крепью с монолитным бетоном; в обобщении экономических показателей при применении разработанной конструкции крепи.

Апробация работы. Основное содержание диссертации и ее отдельные разделы докладывались и получили одобрение на Китайско-Российском симпозиуме «Underground and Building of City and Mine» (Qingdao, China, 2008), II Всероссийской, 55 научно-практической конференции «Россия молодая» (г. Кемерово).

во, 2010 г.), на XIII Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (г. Кемерово, 2010 г.), на 8-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (г. Тула, 2012 г.), на 9-й Международной научно-практической конференции «Wschodnie partnerstwo – 2013» (Poland, 2013 г.), на VIII Всероссийской, 61 научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая» (г. Кемерово, 2016 г.), на Российско-Китайском симпозиуме «Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety» (Kemerovo, Russia, 2016), на III-ем Инновационном горном симпозиуме (Кемерово, 2018), на The 9th China-Russia Conference «Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection» (Qingdao, China, 2018).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 14 печатных работ, в том числе монография, 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» и 2 патента РФ на полезную модель, при этом 2 работы опубликованы в зарубежной печати.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 89 наименований иложена на 141 страницы, включая 13 таблиц, 54 рисунка и 3 приложения на 30 страницах.

Автор выражает глубокую благодарность Заслуженному деятелю науки РФ, д.т.н., проф. В. В. Першину за научно-методическую помощь и ценные замечания при подготовке диссертационной работы.

С о д е р ж а н и е д и с с е р т а ц и и

Наибольшее распространение в практике расчета и проектирования конструкций горных выработок получили режимы заданной нагрузки и взаимовлияющей деформации.

Формирование нагрузки на крепь горных выработок в условиях сплошного сводообразования соответствует жесткопластической и упругопластической неоднородной геомеханическим моделям проведены Н. С. Булычевым, упругопластической неоднородной средой – И. Т. Алимжановым, И. В. Баклашовым, В. А. Еременко, Ж. С. Ержановым, Л. Е. Ершовым, Б. А. Картозия, М. В. Корнилковым, Г. А. Крепенниковым, Ю. М. Либерманом, М. М. Протодьяконовым, А. Г. Протосеня, К. В. Руппенейтем, Г. Л. Фисенко, Н. Н. Фотиевой, Г. С. Франкевичем, П. М. Цимбаревичем. При этом решение задачи определения нагрузки на крепь дано для круглого поперечного сечения выработки.

Формирование нагрузки на крепь в условиях ее совместного деформирования с породным массивом, проявляющих пластические свойства, соответствуют упругая, вязкоупругая, упругопластическая, упругопластическая неоднородная, вязкоупругопластическая геомеханические модели массива и работа крепи в режиме взаимовлияющей деформации либо заданной деформации.

Исследования этого вопроса проведены в работах И. В. Баклашова, Ю. М. Басинского, З. Бенявски, Н. С. Булычева, Д. Дира, А. И. Долгун,

Ж. С. Ержанова, Л. М. Ерофеева, Л. Е. Ершова, Ю. З. Заславского, В. Н. Каретникова, Б. А. Картозия, В. Б. Клейменова, И. Д. Насонова, М. М. Протодяконова, Г. Л. Фисенко, П. М. Цимбаревич и др. В итоге разработаны различные классификации устойчивости горных пород. В результате разработана классификация с подразделением горных пород на пять категорий по степени устойчивости, длительности обнажения и по интенсивности разрушения.

В первой главе рассмотрены объемы строительства наклонных стволов Ерунаковского угленосного района, расположенного в центральной части южной половины Кузбасса на левобережье р. Томь. Административно он относится к Новокузнецкому и Прокопьевскому районам Кемеровской области.

Ерунаковский угленосный район находится в стадии освоения угольной промышленностью. Действуют «Шахта № 7», «Вольная», «Ерунаковская», «Ильинская», «Казанковская», «Камышанская», «Котинская», «Кыргайская», «Майская», «Соколовская», «Тагарышская», «Талдинская-Западная-1», «Талдинская-Южная», «Ульяновская» и проектируются «Жерновская-1», «Жерновская-2», «Жерновская-3», «Жерновская-4», «Кыргайская-Южная», «Саланда», «Талдинская», «Тыхтинская» «Ускатская», «Чельская».

При выборе конструкции крепи устья наклонного ствола определяющими факторами являются способ строительства (открытым котлованом и горный), а также горно-геологические условия заложения устья. На шахтах Кузбасса наиболее часто применяются арочная, сводчатая, прямоугольная формы крепей.

При арочной форме крепи важным конструктивным элементом является жесткая арматура, в качестве которой применяется спецпрофиль СВП. В зависимости от горно-геологических условий в месте заложения устья профиль может варьироваться от СВП-17 до СВП-33. Разнообразие арочных конструкций обусловлено не только номером профиля, но и его расположением относительно сечения крепи и т.д.

Монолитная железобетонная крепь с жесткой арматурой. Профиль СВП располагается по центру сечения крепи (рис. 1). Это наиболее простая конструкция крепи устья.

Монолитная железобетонная крепь с внутренней гибкой арматурой (рис. 2). Наиболее важный конструктивный элемент – жесткая арматура – располагается таким образом, чтобы воспринимать нагрузку как от сжимающих, так и от растягивающих напряжений.

Монолитная железобетонная крепь с вынесенным профилем СВП. Спецпрофиль выносится наружу, а арматурная сетка остается внутри (рис. 3). Проведенные расчеты и сравнения с предыдущим вариантом показали, что несущая способность этой балки превышает в среднем в 3–4 раза несущую способность балки с центральным расположением жесткой арматуры, что свидетельствует о больших потенциальных возможностях нового вида крепи с вынесенной жесткой арматурой.

Монолитная железобетонная крепь с двумя профилями СВП. Применяется в очень сложных горно-геологических условиях, когда один профиль СВП не выдерживает нагрузки. Схема распределения жесткой арматуры по се-

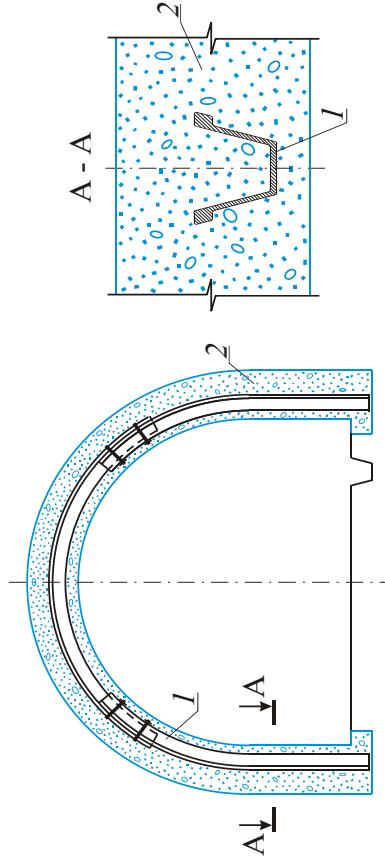


Рис. 1 – Монолитная железобетонная крепь с жесткой арматурой: 1 – металлическая рама из СВП; 2 – монолитный бетон

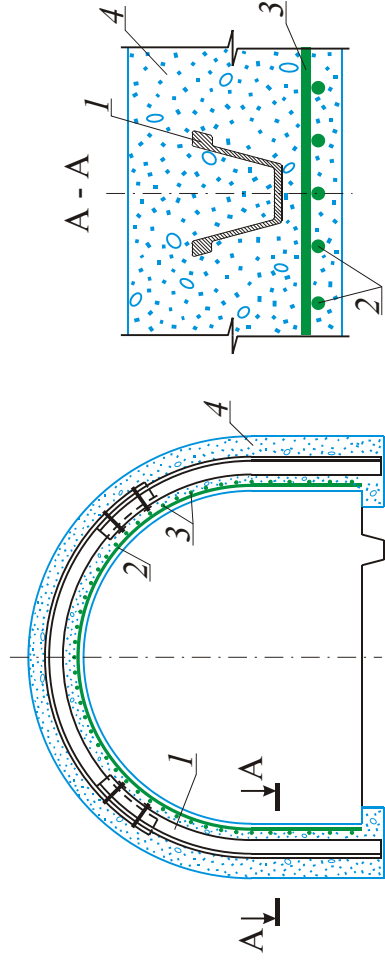


Рис. 2 – Монолитная железобетонная крепь с внутренней гибкой арматурой: 1 – металлическая рама из СВП; 2 – рабочая арматура; 3 – распределительная арматура; 4 – монолитный бетон

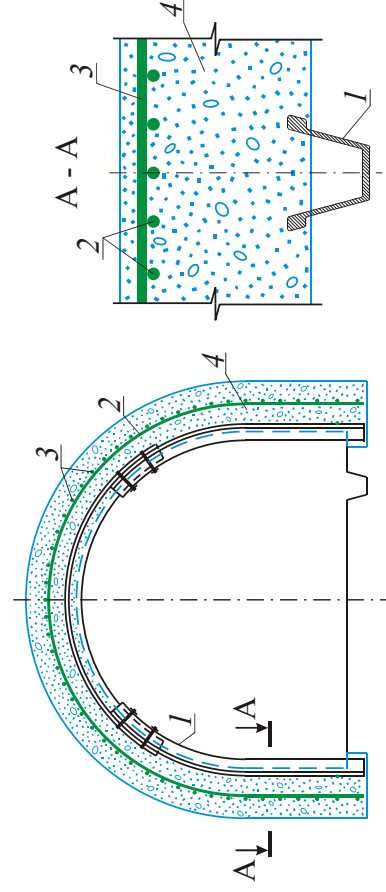


Рис. 3 – Монолитная железобетонная крепь с вынесенным профилем СВП: 1 – металлическая рама из СВП; 2 – рабочая арматура; 3 – распределительная арматура; 4 – монолитный бетон

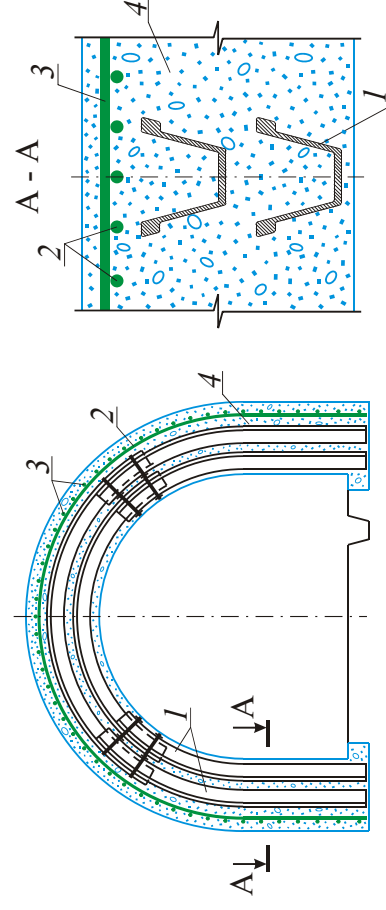


Рис. 4 – Монолитная железобетонная крепь с двумя профилями СВП: 1 – металлическая рама из СВП; 2 – рабочая арматура; 3 – распределительная арматура; 4 – монолитный бетон

чению выработки только одно – в растянутую и в сжатую зону (рис. 4).

К недостаткам вышеперечисленных крепей можно отнести: работу сплошных конструкций крепей преимущественно в поперечном направлении выработки и недостаточность их работы в продольном направлении; увеличение металлоемкости конструкции крепи при обеспечении ее необходимой несущей способности за счет применения гибкой арматуры; неравнопрочность конструкции из-за наличия перегруженных элементов крепи; подверженность коррозии вынесенного спецпрофиля СВП; применения второго спецпрофиля СВП; увеличение трудоемкости возведения крепи.

Во второй главе основываясь на опыте строительства устьев наклонных стволов в Кузбассе – «Шахта «Талдинская-Западная-1», «Шахтоуправление им. А. Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс»; ЗАО «Распадская-Коксовая»; ООО «Шахта «Бутовская» АО «КОКС»; ОАО «Шахта «Южная»; ЗАО «Шахта «Салек»; ОАО «Шахта «Березовская» (рассмотренного в первой главе), определена несущая способность отдельных конструктивных элементов железобетонной конструкции крепи, исходя из условий изготовления, долговечности и обеспечения совместной работы бетона и арматуры. Бетонные и железобетонные элементы крепи должны отвечать определенным конструктивным требованиям.

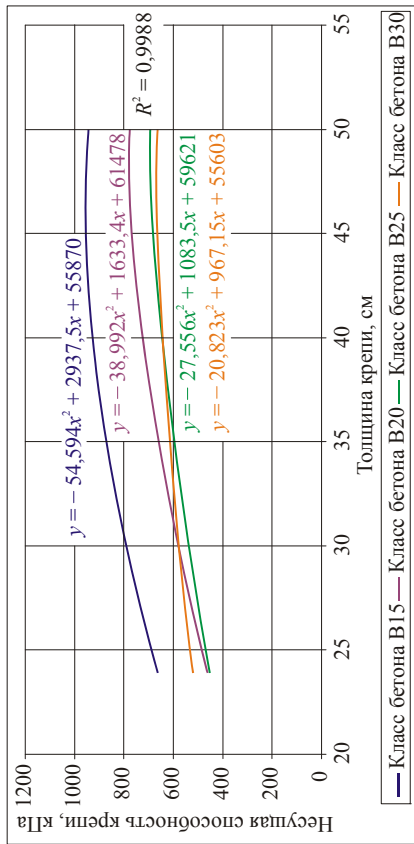
Минимальные размеры поперечных сечений железобетонных элементов крепи определяются расчетом по предельным состояниям с учетом экономических требований, необходимости унификации и особенностей технологии изготовления. Должны выполняться требования по расположению арматуры в сечении (толщина защитного слоя бетона, расстояние между стержнями и хомутами и др.).

В необходимых случаях проводится расчет крепей по предельным состояниям второй группы (пригодности к нормальной эксплуатации), который включает расчет по образованию трещин, раскрытию трещин, деформациям, определению жесткости крепи и прогибов.

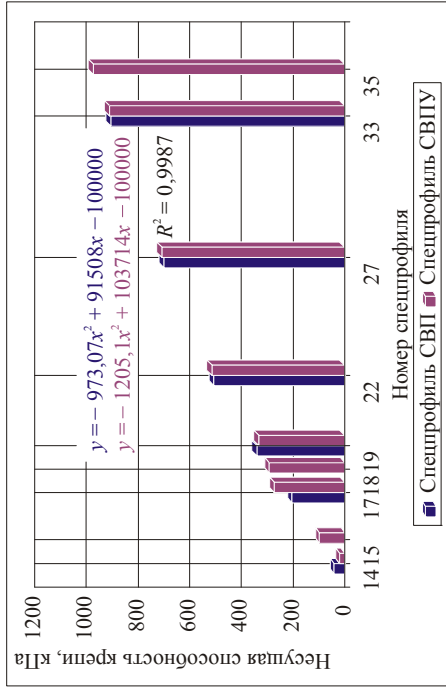
При расчете железобетонной конструкции крепи можно варьировать следующими параметрами: толщиной крепи, шагом установки рам из спецпрофиля СВП (СВПУ), номером спецпрофиля СВП (СВПУ), классом гибкой арматуры, диаметром гибкой арматуры, шагом арматурной сетки, классом бетона. В результате некоторых расчетов возможных вариантов установлено, что несущая способность железобетонной крепи устьев наклонных стволов зависит от толщины крепи на 5,9 % (рис. 5, а), от шага и номера спецпрофиля СВП (СВПУ) – на 39,7 % (рис. 5, б), от площади гибкой арматуры – на 23,4 % (рис. 5, в), класса гибкой арматуры – на 11,1 %, от класса бетона железобетонной крепи – на 19,9 % (рис. 5, г).

В третьей главе изучены подходы к определению нагрузки на крепь подземных выработок, базирующиеся на расчетных схемах взаимодействия массива горных пород с подземными сооружениями. Для удобства проектирования разработана обобщенная классификация расчетных схем, которая рекомендована для практического использования при расчете конструкций горных выработок и подземных сооружений.

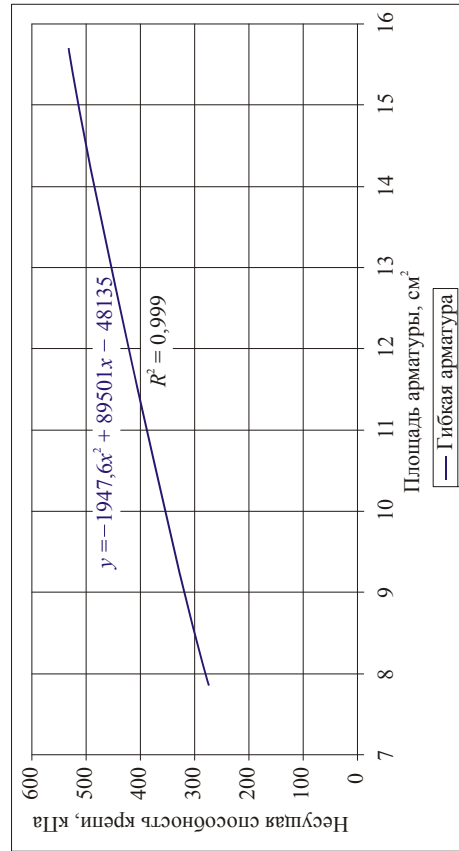
а)



б)



в)



г)

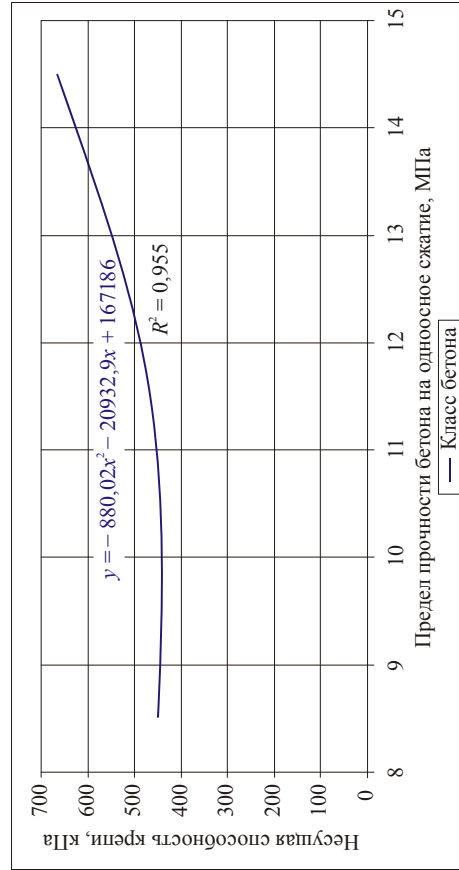


Рис. 5 – Зависимости несущей способности крепи от толщины и класса бетона, спецпрофиля СВП (СВПУ), гибкой арматуры

В настоящее время расчет конструкций крепи производится как по заданным нагрузкам, так и по контактным напряжениям.

Существующие типовые и унифицированные сечения капитальных горизонтальных и наклонных горных выработок с различными видами крепи ограничены максимальной площадью поперечного сечения в свету 18 м^2 . При увеличении площади поперечного сечения в свету более 18 м^2 , металлические рамные крепи должны пройти приемочные испытания. Их параметры (размеры, податливость, несущая способность, сопротивление, стабильность работы в жестком режиме) должны соответствовать требованиям ГОСТа.

В результате выполненных в соответствии с требованиями ГОСТ приемочных испытаний металлической трех-, четырех- и пятизвенной арочной крепи в жестком режиме определены: несущая способность рам (P_n), удельная масса рамы (M_y), прогиб верхняка (h_b) для всех типоразмеров крепи (рис. 6). На основании результатов испытаний металлических рамных крепи в жестком режиме и построенных на их основе графиков установлено, что уменьшение несущей способности рамы до 21,4 % (среднее 15,45 %), при прочих равных условиях происходит с увеличением площади поперечного сечения выработки, при этом удельная масса рамы претерпевает незначительные изменения в большую на 10,5 % или в меньшую сторону на 22,1 %, а прогиб верхняка увеличивается с возрастанием площади поперечного сечения выработки до 34,7 % (среднее 22,4 %).

При испытании крепи в жестком режиме нагружения (образцов без узлов податливости) непосредственно определялись следующие характеристики: предельная вертикальная нагрузка в жестком режиме нагружения, кН/раму; прогиб верхняка рамы, мм. Текущие значения нагрузок на рамы крепи, полученные в ходе стендовых испытаний в жестком режиме нагружения, положены в основу определения фактического сопротивления и несущей способности рам крепи (рис. 7, 8).

На основании полученных результатов испытаний различных типоразмеров крепи построены графики зависимости вертикальной нагрузки и прогиба верхняка на основе отчета по шкале манометра (рис. 9).

На основании результатов испытаний металлических рамных крепи и в жестком режиме установлено, что с заменой прямолинейных стоек КМП-А3-10-17 на криволинейные КМП-А3У-10-17 несущая способность всей рамы увеличивается до 30,4 % (среднее 6,8 %); с уменьшением площади поперечного сечения выработки и с заменой прямолинейных стоек КМП-А3-16-22 в жестком режиме на криволинейные КМП-А3У-13-22 несущая способность всей рамы увеличивается до 59,1 % (среднее 19,1 %); с уменьшением площади поперечного сечения выработки и с заменой прямолинейных стоек КМП-А3-19-27 в жестком режиме на криволинейные КМП-А3У-18-27 несущая способность всей рамы увеличивается до 33,1 % (среднее 9,0 %), при прочих равных условиях.

Прошедшие испытания крепи являются основой для разработки унифицированных типовых сечений горных выработок площадью свыше 18 м^2 с металлической рамной крепью.

Согласно теории классической механики, значение изгибающего момента M_n в шарнире должно быть равно нулю. После проведенных расчетов программным комплексом «ЛИРА-САПР-2013» принятых к сравнению и анали-

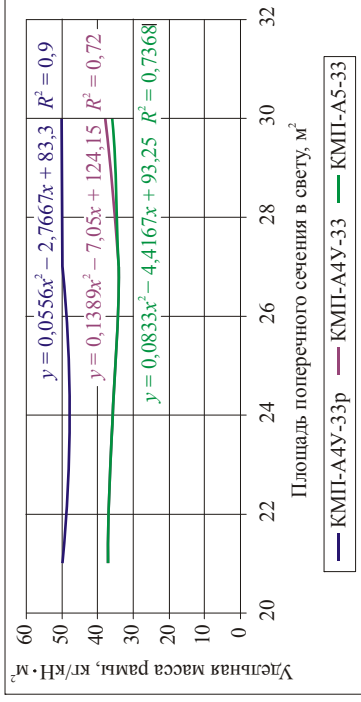
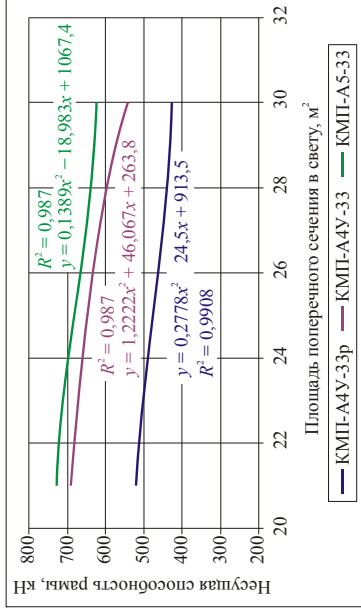
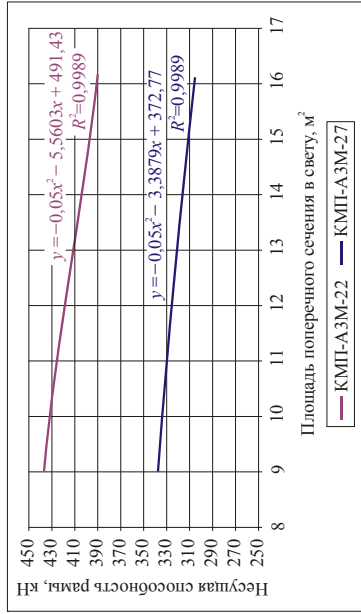


Рис. 6 – Зависимость свойств унифицированных рам от их типоразмера: несущей способности, удельной массы, прогиба верхняка

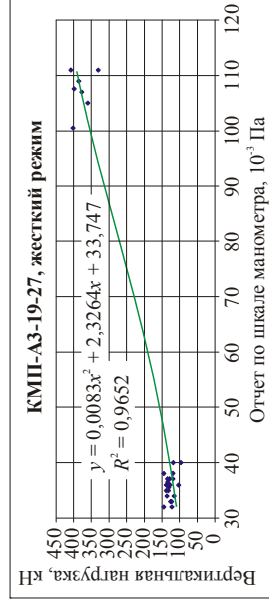


Рис. 7 – Зависимость нагружения рам крепи с прямолинейными стойками в жестком режиме

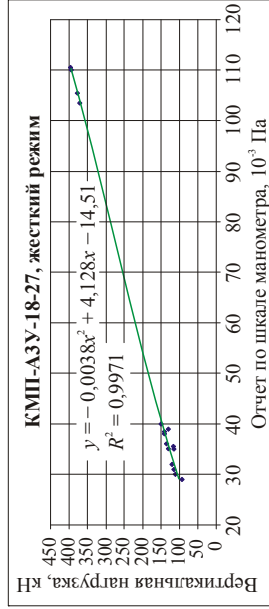


Рис. 8 – Зависимость нагружения рам крепи с криволинейными стойками в жестком режиме

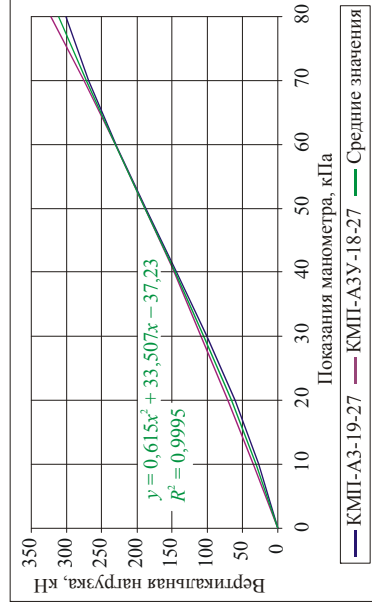


Рис. 9 – Зависимость прогиба верхняка от вертикальной нагрузки различных типов размеров крепей

зу конструкций крепей, получены следующие результаты максимальных изгибающих моментов: для монолитной железобетонной крепи с жесткой арматурой в поперечном направлении – 3,29 МН · м (рис. 6), для монолитной железобетонной крепи с внутренней гибкой арматурой – 3,37 МН · м (рис. 7), для монолитной железобетонной крепи с вынесенным профилем СВП – 3,78 МН · м (рис. 8), для монолитной железобетонной крепи с двумя профилями СВП – 2,69 МН · м (рис. 9).

После определения внутренних усилий в элементах монолитной бетонной крепи выяснилось, что установленные на большом расстоянии друг от друга элементы металлической крепи в средней (вертикальной) части как армирующие элементы менее эффективны по сравнению с большим количеством стержней малого сечения в сетке и наружной поверхности крепи.

В результате испытаний разработана конструкция металлической арочной крепи с монолитным бетоном устьев наклонных стволов, на которую получено два патента на полезную модель.

Приняв за основу расчетную схему предыдущих крепей (см. рис. 14, *а*) разработана крепь горной выработки (рис. 14, *б*), которая состоит из металлической арочной крепи из спецпрофиля с узлами сопряжения между стойками 2 и верхняком 3, расположенными соответственно у внутренней поверхности вертикальной части и у наружной поверхности верхней криволинейной части бетонной крепи 4.

Дополнительные армирующие сетки 5 и 6, не связанные между собой, установлены соответственно у внутренней поверхности криволинейной части и у наружной поверхности вертикальной части бетонной крепи 4 в растянутой зоне согласно эпюр изгибающих моментов (см. рис. 14, *в*).

Крепь устанавливается следующим образом. В выработке с некоторым зазором от бортов и вплотную к верхней точке устанавливают рамы металлической арочной крепи с узлами сопряжения 2 между стойками 3 и верхняком 4 и закрепляют на них сетчатую затяжку 1.

Затем на некотором расстоянии от забоя на рамах арочной крепи устанавливают дополнительные армирующие сетки 6 у бортов выработки и подвешивают дополнительную армирующую сетку 5 под верхняком 3.

При этом верхние концы сеток 6 располагаются выше нижних концов сеток 5 (практически выше и ниже узлов сопряжений 1).

Опалубку для возведения бетонной крепи 4 устанавливают таким образом, что ее поверхность располагается на незначительном расстоянии от стоек 2 и подвесной сетки 5.

В соответствии с эпюром напряжений в крепи горной выработки максимальные изгибающие моменты M_n возникают в середине вертикальных и криволинейных верхних частях крепи с нулевыми значениями в зоне между концами армирующих сеток 5 и 6 и узлов 1 сопряжений элементов 2 и 3 арочной металлической крепи, причем максимальные растягивающие напряжения возникают только в армирующих сетках 5 и 6, что позволяет уменьшить размер спецпрофиля и количество рам крепи. В соответствии с внутренними усилиями изгибающий момент в поперечном направлении крепи равен нулю в шар-

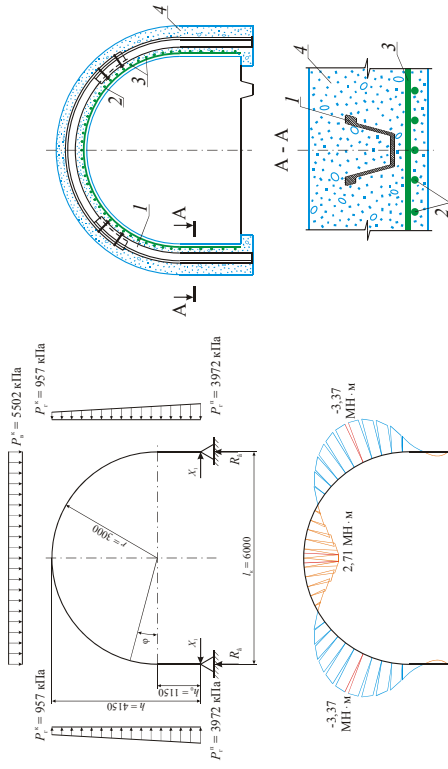


Рис. 11 – Изгибающий момент монолитной железобетонной крепи с внутренней гибкой арматурой: 1 – металлическая рама из СВП; 2 – рабочая арматура; 3 – распределительная арматура; 4 – монолитный бетон

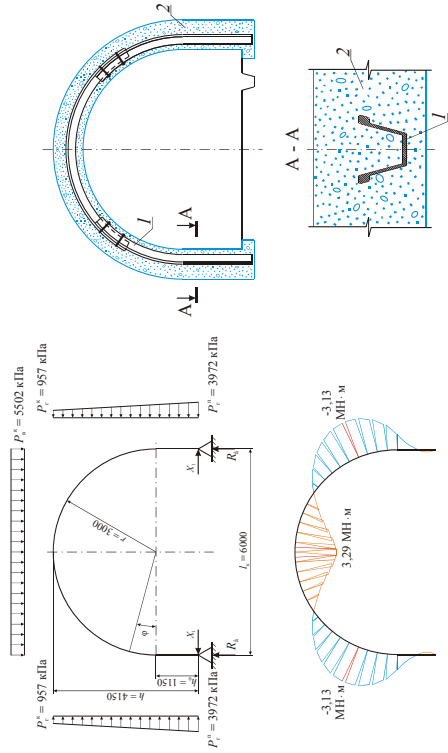


Рис. 10 – Изгибающий момент монолитной железобетонной крепи с жесткой арматурой: 1 – металлическая рама из СВП; 2 – монолитный бетон

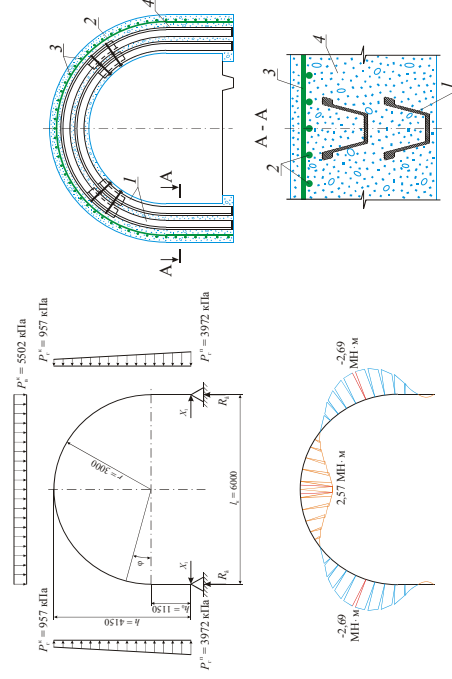


Рис. 13 – Изгибающий момент монолитной железобетонной крепи с двумя профилями СВП: 1 – металлическая рама из СВП; 2 – рабочая арматура; 3 – распределительная арматура; 4 – монолитный бетон

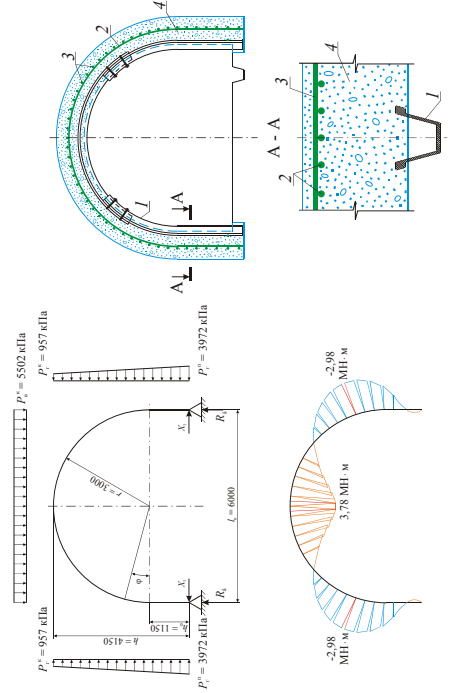


Рис. 12 – Изгибающий момент монолитной железобетонной крепи с вынесенным профилем СВП: 1 – металлическая рама из СВП; 2 – рабочая арматура; 3 – распределительная арматура; 4 – монолитный бетон

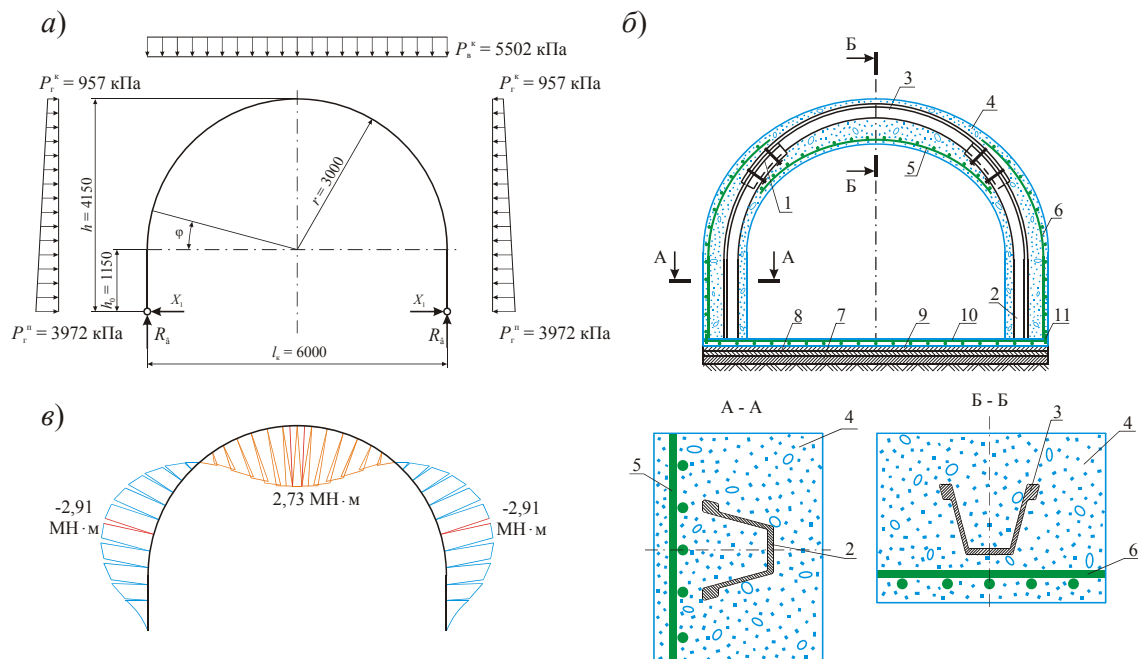


Рис. 14 – Металлическая арочная крепь с монолитным бетоном:

а) – расчетная схема; б) – конструкция крепи; в) – эпюр изгибающих моментов; 1 – узел сопряжения; 2 – стойки; 3 – верхняк; 4 – монолитный бетон; 5 – нижняя арматурная сетка; 6 – верхняя арматурная сетка; 7 – слой бутового камня; 8 – расклиновывание; 9 – слой «тощего бетона»; 10 – железобетонный пол; 11 – арматурные выпуски

нире рамы (см. рис. 14, в).

Сравнение параметров трудоемкости возведения крепей устья наклонного ствола для одних и тех же горно-геологических условий показывает уменьшение количества человеко-часов до 36,6 % (рис. 15, а). При расчете основной заработной платы проходчиков V разряда экономия составила до 37,7 % (рис. 15, б). График стоимости материалов при возведении железобетонных крепей устья наклонного ствола показывает уменьшение затрат до 50,6 % (рис. 15, в). Сравнение плановой стоимости при возведении крепей устья наклонного ствола позволяет сэкономить до 62 тыс.руб. (41,9 %) в ценах на IV квартал 2017 г. на 1 м длины выработки (рис. 15, г).

В четвертой главе представлена технология возведения металлической арочной крепи с монолитным бетоном. Для предотвращения пучения почвы устья наклонного ствола производится выемка грунта ниже уровня «чистого пола» на 300–500 мм. Полученное пространство заполняется бутовым камнем, после чего производится расклиновывание (щебень фракцией 20–40 мм). На расклинованное основание укладывается слой бетона, затем арматурный каркас с арматурными выпусками.

После набора необходимой прочности бетона (двое суток) устанавливается арматурный каркас из спецпрофиля СВП, который выполняет две функции: во время бетонирования служит каркасом для поддержания опалубки, а основная функция – основным несущим элементом металлической арочной крепи с монолитным бетоном.

В зонах, испытывающих растягивающие напряжения, арматурные каркасы из гибкой арматуры устанавливаются в боках – снаружи от спецпрофиля СВП; в кровле – внутри от спецпрофиля СВП.

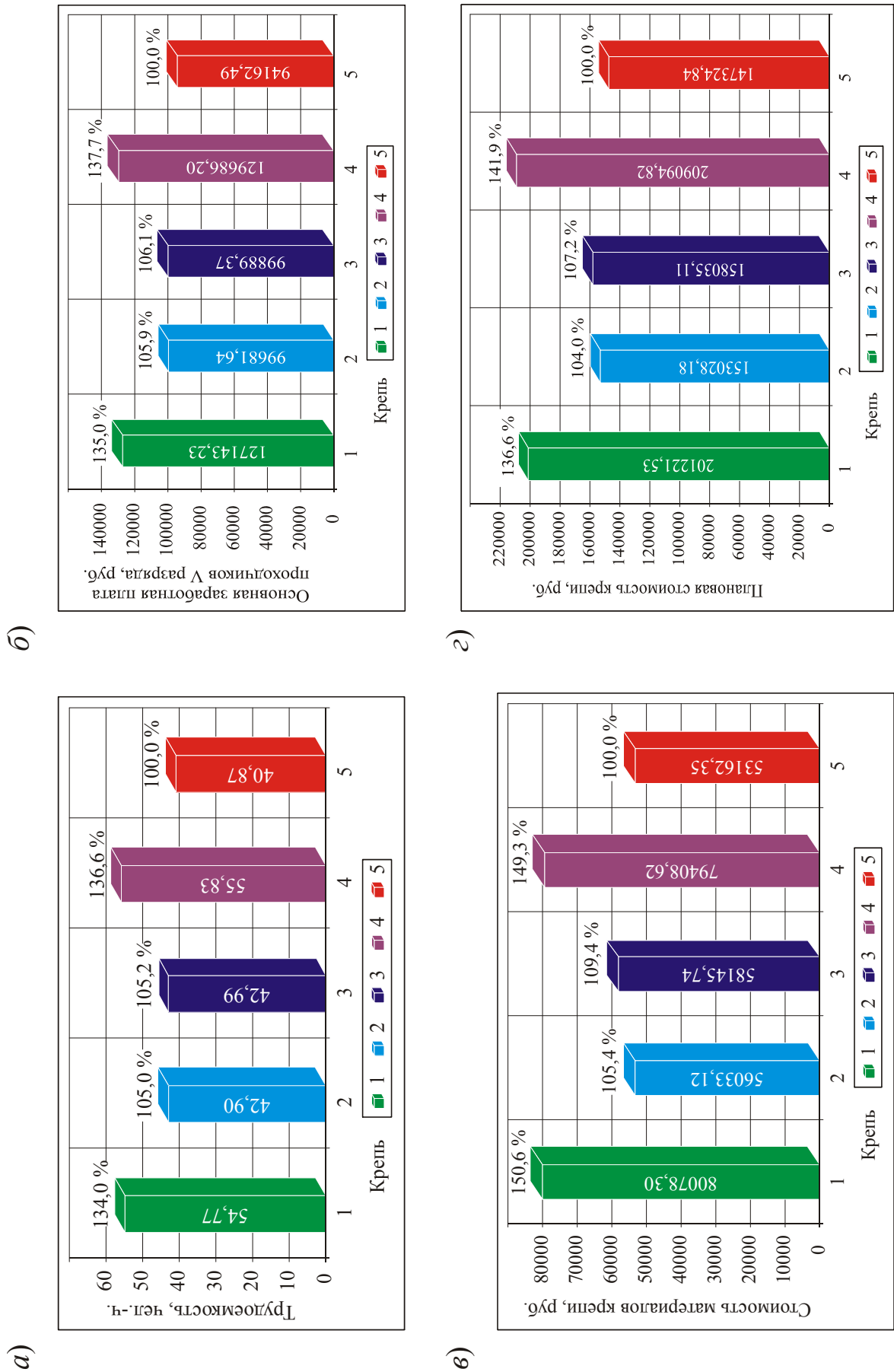


Рис. 15 – Экономический эффект при возведении железобетонных крепей устья наклонного ствола

После установки арматурного каркаса стен приступают к установке унифицированных щитов стеновой опалубки 1 (наружной и внутренней) с размером в плане 1800×1200 мм (рис. 16). Для установки внутренних щитов в проектное положение используют шпризы 6, для установки наружных щитов – соединительные анкеры 2, которые позволяют регулировать толщину крепи от 300 до 500 мм.

Опалубка криволинейного перекрытия состоит из трех частей: левой, правой и центральной. Монтаж опалубки осуществляется симметрично: сначала левая и правая части; затем – центральная (см. рис. 16).

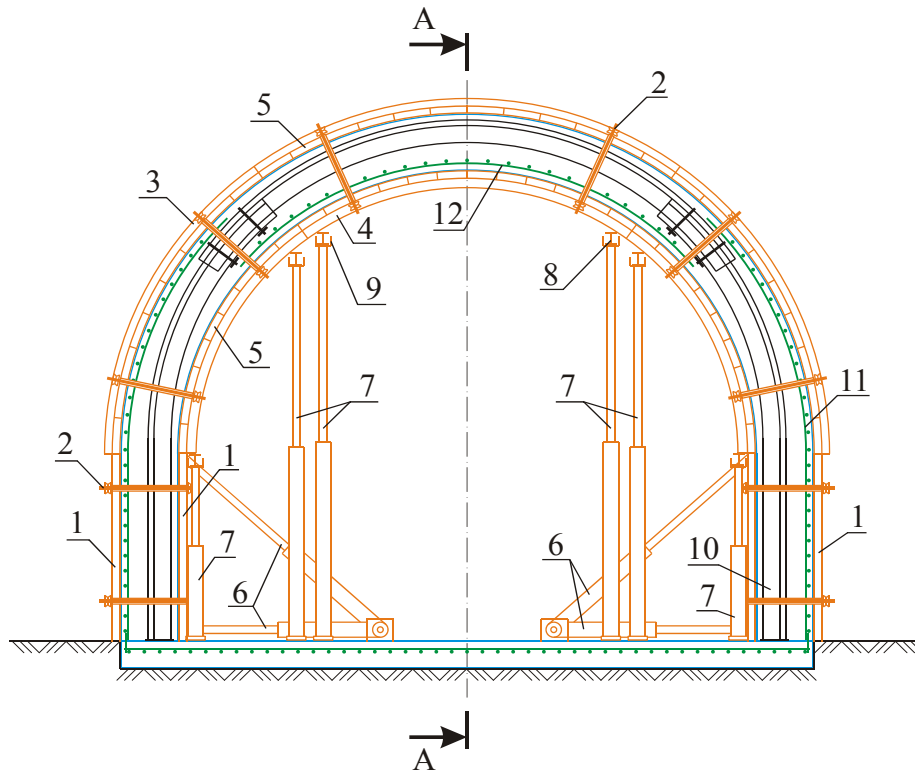


Рис. 16 – Схема инвентарной опалубки:

- 1 – унифицированный щит стеновой опалубки; 2 – соединительный анкер;
- 3 – наружное криволинейное кружало; 4 – внутреннее криволинейное кружало;
- 5 – ламинированный лист фанеры; 6 – шприза; 7 – телескопическая стойка;
- 8 – брус опалубочный; 9 – корона поддерживающая опалубочный брус;
- 10 – спецпрофиль СВП; 11 – арматурный каркас из гибкой арматуры в боках;
- 12 – арматурный каркас из гибкой арматуры в кровле

Строительство устья рекомендуется начинать в осенне-зимний период. С установлением первых отрицательных температур приступают к отрывке котлована, при этом объем вынимаемого грунта сокращается примерно на 50–60 % по сравнению с летним периодом (рис. 17). При отрывке котлована необходимо предусмотреть одну или две технологические дороги шириной 6 м для доставки материалов, временной стоянки автотехники.

Устройство спецпрофиля СВП производится автокраном, установленного на специально оборудованных стоянках технологической дороги (рис. 18). С некоторым отставанием (на одну-две рамы) производится устройство гибкой арматуры.

Устройство секций опалубки осуществляется с помощью автокрана, установленного на специально оборудованных стоянках технологической дороги (рис. 19). По мере установки секций опалубки производится укладка бетонной смеси заходками.

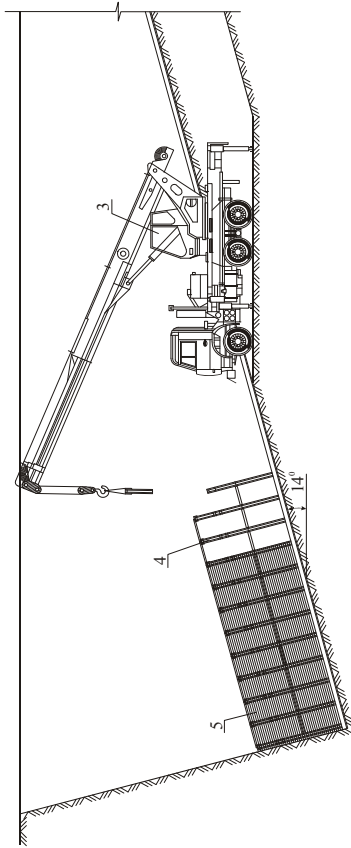


Рис. 18 – Устройство арматурного каркаса: 1 – автокран; арматурный каркас из: 2 – спецпрофиля СВП; 3 – гибкой арматуры

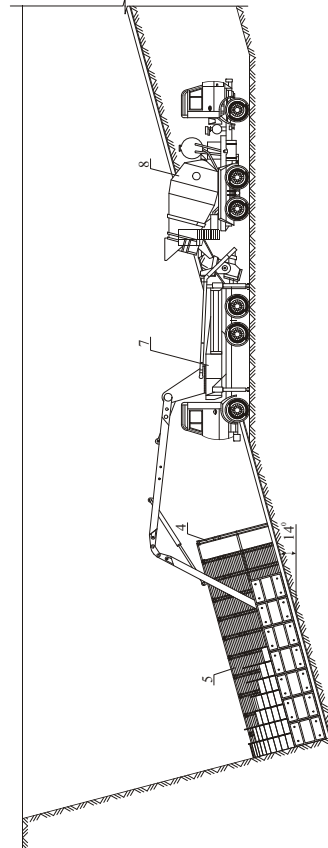


Рис. 20 – Укладка бетонного раствора за опалубку: арматурный каркас из: 1 – спецпрофиля СВП; 2 – гибкой арматуры; 3 – автобетононасос; 4 – автобетономешалка

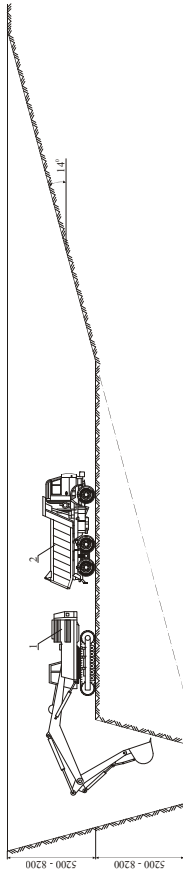


Рис. 17 – Отрывка котлована: 1 – экскаватор; 2 – самосвал

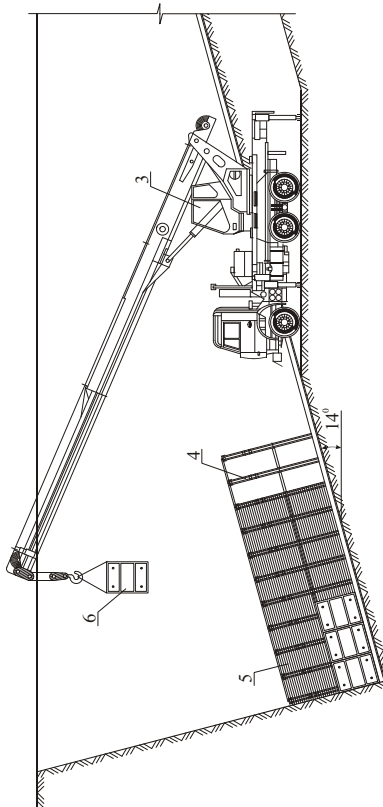


Рис. 19 – Монтаж секций инвентарной опалубки: 1 – автокран; арматурный каркас из: 2 – спецпрофиля СВП; 3 – гибкой арматуры; 4 – унифицированный щит стеновой опалубки

Бетонная смесь подается за опалубку с помощью автобетононасоса (штеттера), который может размещаться в местах стоянки крана предусмотренных на технологической дороге слева или справа от конструкции крепи (рис. 20).

Для того чтобы бетонная смесь за опалубкой не застывала при отрицательных температурах в зимний период времени, а набирала прочность, предусматривается комбинированный способ прогрева бетона – метод «термоса» и метод электрического прогрева. При применении данного способа при современном уровне технологий стоимость производства бетонных работ при отрицательных температурах в зимний период времени увеличивается на 4–7 %.

Для улучшения водонепроницаемости так называемых «холодных швов» – места соединения «чистого пола» и стен, стен и криволинейного перекрытия, необходимо проклеить гидро- пароизоляционной герметизирующей самоклеющейся лентой, например, лента ВИКАР ЛБ.

После герметизации «холодных швов» можно приступать к обратной засыпке котлована. Данный процесс необходимо выполнять либо одновременно с обеих сторон от устья наклонного ствола, либо с каждой стороны в отдельности заходками на высоту 200–300 мм с уплотнением каждого слоя обратной засыпки породы.

Технико-экономическое сравнение по основным процессам при возведении сравниваемых железобетонных крепей и металлической арочной крепи с монолитным бетоном для устьев наклонных стволов показало (рис. 21):

- на отрывку котлована требуется в 5,5 раз меньше объема (или 18,25 %) вынимаемого грунта в весенне-летний период с учетом угла естественного откоса;
- за счет правильного распределения гибкой арматуры уменьшается номер спецпрофиля СВП, при этом трудозатраты снижаются на 1/3 (до 38 %);
- монтаж (демонтаж) опалубки сэкономить трудозатраты не позволил (1,12 %), так как число секций примерно одинаковое;

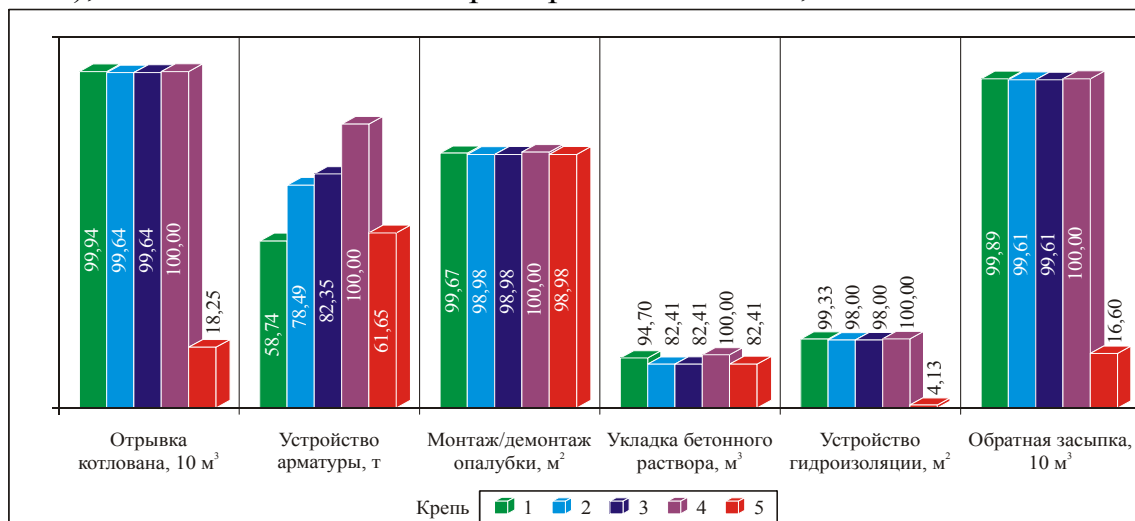


Рис. 21 – Экономический эффект основных технологических процессов при возведении железобетонных крепей для устьев наклонных стволов, %

- трудоемкость укладки бетонной смеси уменьшилась на 1/5 (18 %) – это связано с применением автобетононасоса (штеттера), у которого даль-

ность подачи бетонной смеси увеличивается, и, как следствие, снижается стоимость бетонных работ;

– технологией предусматривается герметизация только холодных швов, при этом трудозатраты снижаются более чем в 20 раз (4,13 %) в отличие от применения классической технологии;

– в связи с уменьшением объема вынимаемого грунта при отрывке котлована, трудоемкость обратной засыпки уменьшается в 6 раз.

При применении предложенной технологии с соблюдением всех технических регламентов, предусмотренных нормативной документацией, можно получить экономию примерно в 2 раза (47 %).

З а к л ю ч е н и е

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных исследований разработаны научно обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию крепи устьев наклонных стволов, позволяющие снизить материалоемкость крепи и трудозатраты на ее возведение, что имеет существенное значение при строительстве наклонных стволов в угольной промышленности.

Основные научные и практические результаты исследований заключаются в следующем.

1. Несущая способность металлической арочной крепи с монолитным бетоном обеспечивается классом бетона на 20 %, толщиной бетона на 6 %, шагом и номером спецпрофиля СВП на 40 %, классом арматурной сетки на 11 % и площадью гибкой арматуры на 23 %.

2. По результатам лабораторных исследований металлических рамных крепей в жестком режиме установлено, что с заменой прямолинейных стоек на криволинейные, несущая способность всей рамы увеличивается от 6,8–19,1 %, при прочих равных условиях.

3. На основании результатов испытаний металлических рамных крепей в жестком режиме установлено, что уменьшение несущей способности до 21,4 %, при прочих равных условиях, происходит с увеличением площади поперечного сечения выработки, при этом удельная масса рамы претерпевает незначительные изменения в большую на 10,5 или в меньшую сторону на 22,1 %, а прогиб верхняка увеличивается с возрастанием площади поперечного сечения выработки до 34,7 %.

4. Разработана конструкция металлической арочной крепи с монолитным бетоном (патент на полезную модель 59726) в соответствии с эпюром напряжений в крепи, где максимальные изгибающие моменты возникают в середине вертикальных и криволинейных верхних частях крепи, а нулевые значения – в зоне между концами армирующих сеток и узлов сопряжений элементов арочной металлической крепи, причем максимальные растягивающие напряжения возникают только в армирующих сетках, что позволяет уменьшить размер спецпрофиля и количество рам крепи.

5. Разработанная циклично-поточная технология возведения металлической арочной крепи с монолитным бетоном при строительстве устьев наклон-

ных стволов, проводимых открытым способом, позволяет снизить трудозатраты, примерно, в 2 раза (47 %), по отдельным операциям – в 20 раз.

6. Для практической реализации разработаны Рекомендации по технологии крепления устьев наклонных стволов металлической арочной крепью с монолитным бетоном, которые утверждены АО «СУЭК-Кузбасс» и ООО «Сибирский Институт Горного Дела». Результаты диссертационной работы приняты к использованию в учебном процессе Шаньдунского научно-технического университета, а отдельные результаты и рекомендации при использовании в проектах строительства новых наклонных стволов в ООО «Сибирский Институт Горного Дела» и Шаньдунского научно-технического университета.

7. Практическое применение металлической арочной крепи с монолитным бетоном осуществлено при строительстве устья наклонного ствола участка Магистральный АО «СУЭК-Кузбасс» Шахтоуправления имени А. Д. Рубана, при этом экономический эффект составил на 1 м длины выработки 99,3 тыс.руб. в ценах IV квартала 2017 г.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

Монография:

1. Першин, В. В. Строительство устьев наклонных стволов / В. В. Першин, М. Д. Войтов, **П. М. Будников**. – Новосибирск, Наука, 2018. – 162 с.

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

2. Войтов, М. Д. Выбор и обоснование применения крепи для устьев наклонных горных выработок / М. Д. Войтов, **П. М. Будников** // Вестник Кузбасского государственного технического университета – 2010. – № 2. – С. 71–74.

3. Войтов, М. Д. Исследование и анализ стендовых и приемочных испытаний металлических арочных крепей из СВП / М. Д. Войтов, С. Г. Ващенко, **П. М. Будников** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 6 – С. 21–25.

4. Войтов, М. Д. Новые технические решения крепи устья наклонных стволов / М. Д. Войтов, **П. М. Будников** // Вестник Кузбасского государственного технического университета – 2013. – № 1. – С. 36–38.

5. **Будников, П. М.** Результаты испытаний металлических рамных крепей в жестком и податливом режимах из СВП-33 для устья наклонных стволов // Вестник Кузбасского государственного технического университета – 2014. – № 6. – С. 43–46.

В зарубежных изданиях, включенных в Web of Science:

6. Pershin Vladimir V. Upgraded technical decisions for lining and maintenance of mine workings / Vladimir V. Pershin, Michael D. Voytov, Sergey V. Cherdantsev, **Pavel M. Budnikov**, Andrey A. Lebedev // Advances in geotechnical and structural engineering : Proceedings of the Fifth China-Russia Symposium on Underground and Building Engineering of City and Mine. – Qingdao, China, 2008. – P. 50–52.

7. Pershin Vladimir V. The improved construction of reinforced-concrete support of slope mouth / Vladimir V. Pershin, Michail D. Vojtov, **Pavel M. Budnikov** // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety: The 8th Russian-Chinese Symposium. – Kemerovo, Russia, 2016. – P. 27–32.

Патенты на полезную модель:

8. Патент 59726 РФ. Крепь горной выработки / М. Д. Войтов, В. В. Першин, К. В. Садыков, **П. М. Будников**; опубл. 27.12.2006. Бюл. № 36.

9. Патент 122696 РФ. Крепь устья наклонной горной выработки в наносах / М. Д. Войтов, В. В. Першин, **П. М. Будников**; опубл. 10.12.2012. – Бюл. № 34.

В прочих изданиях:

10. Першин, В. В. Совершенствование крепления горных выработок / В. В. Першин, М. Д. Войтов, А. И. Копытов, **П. М. Будников**, А. А. Лебедев // Управление механическими процессами дезинтеграции, инъекционного уплотнения и переработки горных пород. Материалы научно-практической конференции. – Кемерово, 2009. Кузбассвузиздат. – С. 261–267.

11. Войтов, М. Д. Исследование несущей способности крепи КМП-А3М из спецпрофиля СВП / М. Д. Войтов, С. Г. Ващенко, **П. М. Будников** // XIII Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». – Кемерово, 2010. – С. 228–231.

12. Войтов, М. Д. Обоснование выбора строительной площадки устьев наклонных стволов / М. Д. Войтов, **П. М. Будников** // XIII Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». – Кемерово, 2010. – С. 225–228.

13. **Будников, П. М.** Анализ и обоснование применения монолитной бетонной крепи с жесткой арматурой для устьев наклонных стволов / 8 Междунар. конф. по проблемам горн. пром-сти, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики»: ТулГУ. – Тула, 2012. – Т. 1. – С. 70–74.

14. Рекомендации по технологии крепления устьев наклонных стволов металлической арочной крепью с монолитным бетоном: составители: В. В. Першин, А. И. Копытов, **П. М. Будников** / Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2019. – 17 с.

Подписано в печать 05.07.2019. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 120 экз. Заказ .

Отпечатано в издательском центре УИП КузГТУ.

650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.