

Карагандинский технический университет

УДК 622.281(574)

На правах рукописи

ТОМИЛОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

**Обоснование параметров проведения горных
выработок с использованием технологии анкерного
крепления**

6D070700 – «Горное дело»

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант:
доктор технических наук,
профессор
В.Ф. Демин

Зарубежный научный консультант:
старший научный сотрудник,
доктор технических наук,
профессор
Алиев С.Б.
(ИПКОН РАН, Москва)

Республика Казахстан
Караганда, 2020

Содержание

Обозначения и сокращения	4
Введение	5
1 Исследование и определение влияющих факторов на параметры анкерной крепи горной выработки	9
1.1 Современное состояние и развитие угольной промышленности Казахстана	9
1.2 Обзор горно-геологических условий и оценка деформационных свойств Карагандинского угольного бассейна.....	11
1.3 Обзор применения видов крепей на шахтах Карагандинского угольного бассейна.....	18
1.4 Оценка устойчивости и анализ дефектности горных выработок шахт Карагандинского бассейна	21
1.5 Анализ конструкций анкерных крепей и условий их применения на шахтах Карагандинского угольного бассейна.....	27
1.6 Производственные наблюдения за состоянием выработок шахт Карагандинского угольного бассейна, закрепленных анкерной крепью	35
1.6.1 Натурные наблюдения за смещениями породного массива вблизи горных выработок шахты им. Костенко УД АО «АрселорМиттал Темиртау»	36
1.7 Анализ научно-технических достижений применения анкерной технологии крепления горных выработок	41
1.8 Обоснование целесообразности применения анкерного крепления	46
1.9 Анализ результатов шахтных натурных наблюдений и накопленного опыта применения анкерной крепи	48
Выводы по первому разделу	51
2 Расчет параметров анкерного крепления горных выработок для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна.....	53
2.2 Обзор методов расчета анкерного крепления горных выработок	57
2.3 Методология расчета параметров технологии анкерного крепления	59
2.3.1 Определение расчетного сопротивления на сжатие пород кровли и боков горной выработки.....	68
2.3.2 Определение расчетных смещений пород кровли с анкерной крепью	72
2.3.3 Выбор схемы крепления горных выработок с использованием технологии анкерного крепления.....	75
2.3.4 Расчет параметров анкерной крепи в зависимости от величины смещения пород кровли и расчетных нагрузок на крепь.....	76
2.3.5 Поправочные коэффициенты, влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов.....	78
2.3.6 Корректировка порядка расчета анкерного крепления горных выработок	88
Выводы по второму разделу	89
3. Разработка методики автоматизированного расчета анкерного крепления	90
3.1 Аппроксимация номограмм смещений пород подземных горных выработок.	91

3.1.1 Методы аппроксимации номограмм	92
3.1.2 Исследование погрешности (достоверности) уравнений аппроксимации.	94
3.2 Методика автоматизированного расчета анкерного крепления	97
3.3 Программа для ЭВМ	103
Выводы по третьему разделу	105
4 Обоснование параметров крепления горных выработок с использованием технологии анкерного крепления	106
4.1 Разработка технических решений по расчету параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского бассейна	106
4.1.1 Расчет параметров анкерного крепления горных выработок в условиях эксплуатации шахты им. Костенко	106
4.1.2 Расчет параметров анкерного крепления горных выработок в условиях эксплуатации шахты «Шахтинская»	112
4.1.3 Обоснование параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна	118
4.1.4 Обоснование анкерного крепления подземных горных выработок по стоимостному фактору	123
4.2 Закономерности изменения параметров анкерного крепления от влияющих факторов условий эксплуатации.....	125
Выводы по четвертому разделу	131
Заключение	133
Список использованных источников	135
Приложение А	143
Приложение Б	149
Приложение В.....	152
Приложение Г	156
Приложение Д.....	165
Приложение Е.....	167
Приложение Ж.....	171
Приложение З	183
Приложение И	195

Обозначения и сокращения

В настоящей диссертации применяются следующие обозначения и сокращения:

ППГД	– проявление повышенного горного давления;
РМПИ	– разработка месторождений полезных ископаемых;
КарГТУ	– Карагандинский государственный технический университет;
MATEC	– Materials Science, Engineering and Chemistry;
CCIT	– Computing, Communication and Information Technolog;
ККСОН	– Комитет по контролю в сфере образования и науки;
МОН	– Министерство науки и образования;
РК	– Республика Казахстан;
ИВС	– информационно-вычислительные системы;
ТОО	– товарищество с ограниченной ответственностью;
GSI	– Geological Strength Index;
A-III, A-IV	– класс арматурной стали;
АМ	– анкер с метрической резьбой;
АВМ	– анкер винтовой;
ПГД	– повышенное горное давление;
АК	– анкер канатный;
ОГД	– опорное горное давление;
АО	– акционерное общество;
Минтрансстрой	– министерство транспортного строительства СССР;
ВНИМИ	– межотраслевой научный центр «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела».
УД	– Угольный департамент
АО	– Акционерное общество

В работе использованы традиционные для горнотехнической литературы единицы измерения: кН, МПа, кН/м², мм, м, км, м³/ч, м³/т, т, м², кг/мм² и т.д.

Введение

Актуальность темы. С переходом на большую глубину разработки в Карагандинском угольном бассейне, усложнились горно-геологические и горнотехнические условия, существенно увеличились размеры зон опорного давления в окрестностях очистных выработок и интенсивность проявлений горного давления в выработках внутри выемочных полей. Более 60% вмещающих пород непосредственной кровли угольных пластов подземных горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна находятся в неустойчивом состоянии, а породы непосредственной почвы – подвержены к вздутию. Ввиду этого кратность перекрепления поддерживаемых выработок достигает двух-трех кратного значения в течение срока эксплуатации и более 25% их ежегодно подвергается ремонту и комплексу работ по повышению их устойчивости со значительными материальными затратами и трудоемкостью.

Технологии анкерного крепления горных выработок в последнее время находят все большее применение по всему миру. В то же время, на шахтах Карагандинского угольного бассейна, практика её эксплуатации выявила ряд серьезных недостатков, которые приводят к деформациям подготовительных горных выработок: смещения породного контура, вывалы из кровли и боков выработки.

Основное влияние на выбор и параметры анкерного крепления горных выработок оказывают горно-геологические и горнотехнические факторы для конкретных условий эксплуатации. В связи с этим задача расчета параметров анкерных креплений для конкретных условий эксплуатации с учетом влияющих факторов для сохранения устойчивости горных выработок различного технологического назначения является актуальной и востребованной, как на шахтах Карагандинского угольного бассейна, так и в горнодобывающем секторе экономики РК.

Целью работы является обоснование параметров технологии анкерного крепления горных выработок с учетом влияющих факторов условий эксплуатации, обеспечивающих повышение рентабельности и безопасности отработки угольных пластов.

Идея работы заключается в создании условий для расширения области применения одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения, с учетом влияющих факторов условий эксплуатации.

Объектом исследования являются горные выработки, различного технологического назначения, проводимые и поддерживаемые в конкретных условиях эксплуатации горно-геологического и горнотехнического характера.

Научная проблема состоит в обосновании параметров анкерного крепления горных выработок с учетом влияющих факторов условий эксплуатации, для обеспечения устойчивости контура горной выработки.

Методика выполнения работы включает в себя:

– исследование и определение влияющих факторов на параметры анкерной

крепи горной выработки, оценку устойчивости горных выработок шахт Карагандинского бассейна, анализ конструкций анкерных крепей и условий их применения на угольных шахтах;

- проведение и анализ натурных наблюдений за смещениями породного массива вблизи горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна;

- разработку методологии и структурной схемы выбора вида и расчета параметров одноуровневой, комбинированной, двухуровневой анкерной технологии крепления горных выработок, адаптивной к влияющим факторам условий эксплуатации угольных шахт.

- разработку методики автоматизированного расчета параметров анкерной технологии крепления горных выработок различного технологического назначения, актуальных для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна и реализованная в формате Программы для ЭВМ;

- разработку технических решений по выбору вида и расчету параметров крепления горных выработок с использованием технологии анкерного крепления для конкретных условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

- обоснование выбора анкерного крепления подземных горных выработок по стоимостному фактору;

- установление закономерностей изменения параметров анкерного крепления от влияющих факторов условий эксплуатации горных выработок угольных шахт.

Решение поставленных задач осуществляется методом анализа отечественного и зарубежного опыта в области расчета и применения параметров анкерной технологии крепления горных выработок, с учетом комплекса влияющих факторов, натурных наблюдений. математического и компьютерного обоснования параметров анкерного крепления горных выработок, апробацией результатов в промышленных условиях эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна.

Научная новизна заключается в:

- структурной схеме обоснования и расчета параметров анкерного крепления горных выработки, проводимых в массиве и поддерживаемых вне зоны, в зоне влияния очистных работ, охраняемых за лавой целиком, погашаемых за лавой, позволяющей расширить область применения технологии анкерного крепления горных выработок на угольных шахтах;

- закономерностях изменения параметров анкерного крепления горных выработок от глубины заложения, ширины выработки, сопротивления пород кровли на сжатие для шахт Карагандинского бассейна, позволяющих выбирать и создавать обоснованный вариант вида технологии анкерного крепления;

- программе расчета параметров анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения, адаптивной к конкретным условиям эксплуатации шахт угольного бассейна, позволяющей увеличивать производительность и эффективность труда технологических служб шахт при разработке схемы и паспорта проведения горных выработок.

Научное значение работы состоит в обосновании параметров и методологии расчета технологии анкерного крепления подготовительных горных выработок с учетом влияющих факторов условий эксплуатации.

Практическая ценность работы заключается:

- в выборе схемы и методологии расчета параметров анкерного крепления горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна;
- в обосновании выбора технологии анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения для конкретных условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;
- в закономерностях изменения параметров технологии анкерного крепления от влияющих факторов условий эксплуатации горных выработок. Закономерности позволят технологическим службам шахт моделировать параметры крепления горных выработок и выбирать обоснованные варианты видов анкерного крепления;
- в разработке программы для ЭВМ автоматизированного расчета параметров анкерного крепления.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- методология расчета параметров одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления горных выработок, основанной на теории грузонесущего моста и подвешивания к устойчивым горным породам, что позволит обеспечить устойчивость приконтурного горного массива;
- закономерности изменения параметров анкерного крепления горных выработок от глубины заложения, ширины выработки, сопротивления пород кровли на сжатие, что позволит создать технологические схемы и паспорт проведения горных выработок.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: корректной постановкой технологических задач и правомочностью использования современных вычислительных методов для их решения; удовлетворительной сходимостью результатов теоретических исследований с фактическими данными промышленных наблюдений.

Личный вклад автора заключается в проведении как теоретических, так и в натурных исследованиях, направленных на достижение цели диссертационной работы, в подготовке публикаций по теме исследования и в получении охранных документов. Соискатель разработал методологию расчета параметров анкерного крепления подготовительных горных выработок для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна; разработал методику автоматизированного расчета параметров анкерного крепления. Также с его непосредственным участием разработаны технические решения по обоснованию параметров анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения для шахт (им. Костенко, «Шахтинская») Карагандинского угольного бассейна, с учетом влияющих факторов горно-геологического и горнотехнического характера шахт бассейна, выявлены закономерности изменения параметров анкерного крепления от влияющих факторов условий эксплуатации.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и получили одобрение: на научных семинарах кафедры РМПИ КарГТУ; на международных научных и научно-практических конференциях «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации», г. Караганда, КарГТУ (Сагиновские чтения №9, 22-23 июня 2017 г.), (Сагиновские чтения №10, 14-15 июня 2018 г.), (Сагиновские чтения №11, 14-15 июня 2019 г.); «Развитие технических наук в современном мире», г. Воронеж (11 декабря 2017 г.); MATEC Web of Conferences «Information and Measuring Equipment and Technologies», г. Томск, 2018 г.; «Найновите научни постижения», г. София (12-13 марта 2018г.); «Sixth International Conference on Advances in Computing, Communication and Information Technology – CCIT 2018», Швейцария, 2018г;

Реализация работы в промышленности. В рамках хоздоговорных исследований разработаны технические решения по выбору схемы и расчету параметров анкерного крепления горных выработок для условий эксплуатации шахт им. Костенко, «Шахтинская» Карагандинского угольного бассейна. Технические решения в настоящее время проходят опытно-промышленную проверку на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау». Структурная схема расчета параметров одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления включена в переработанную инструкцию по расчету и применению анкерных крепей на шахтах Карагандинского угольного бассейна.

Основные научные результаты выполненных исследований опубликованы в 19 печатных трудах, в том числе, 1 монографией, 2 статьях и 2 докладах на конференциях, проиндексированных в базе данных Scopus, 3 статьях, опубликованных в изданиях, рекомендованных ККСОН МОН РК. Новизна результатов подтверждена одним патентом на изобретение, двумя свидетельствами о внесении в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом.

Объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов и выводов, изложенных на 141 странице текста, содержит 58 рисунков, 102 таблиц, список использованных источников из 107 наименований и 9 приложений.

Автор выражает признательность научному руководителю, благодарит за консультации и поддержку при выполнении этапов сотрудников кафедр РМПИ, ИВС, высшей математики КарТУ и инженерно-технических работников шахты имени И. А. Костенко, «Шахтинская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

1 Исследование и определение влияющих факторов на параметры анкерной крепи горной выработки

1.1 Современное состояние и развитие угольной промышленности Казахстана

Согласно статистике транснациональной нефтегазовой компании British Petroleum Statistical Review of World Energy, по состоянию на конец 2018 г, Казахстан занимает восьмое место в мире по объему доказанных запасов угля: 25,6 млрд т или 2,2 % мировых запасов и десятое место в мире по объему производства: 102,4 млн т или 1,4 % мирового производства (Приложение В) [6-8]. Запасы угля состоят преимущественно из суббитуминозного угля. При этом имеются запасы как бурого, так и коксующегося угля. Общих объемов запасов угля достаточно для поддержания текущих темпов добычи угля в течение продолжительного периода.

Доля потребления первичных энергоресурсов в Казахстане в 2018 году составила (рисунок 1.1): уголь – 56,5 %, нефть – 20,9 %, природный газ – 19,1 %, гидроэнергетика – 3,3 %, из чего следует, что угольная промышленность в Казахстане является одной из важнейших ресурсных отраслей её экономики.

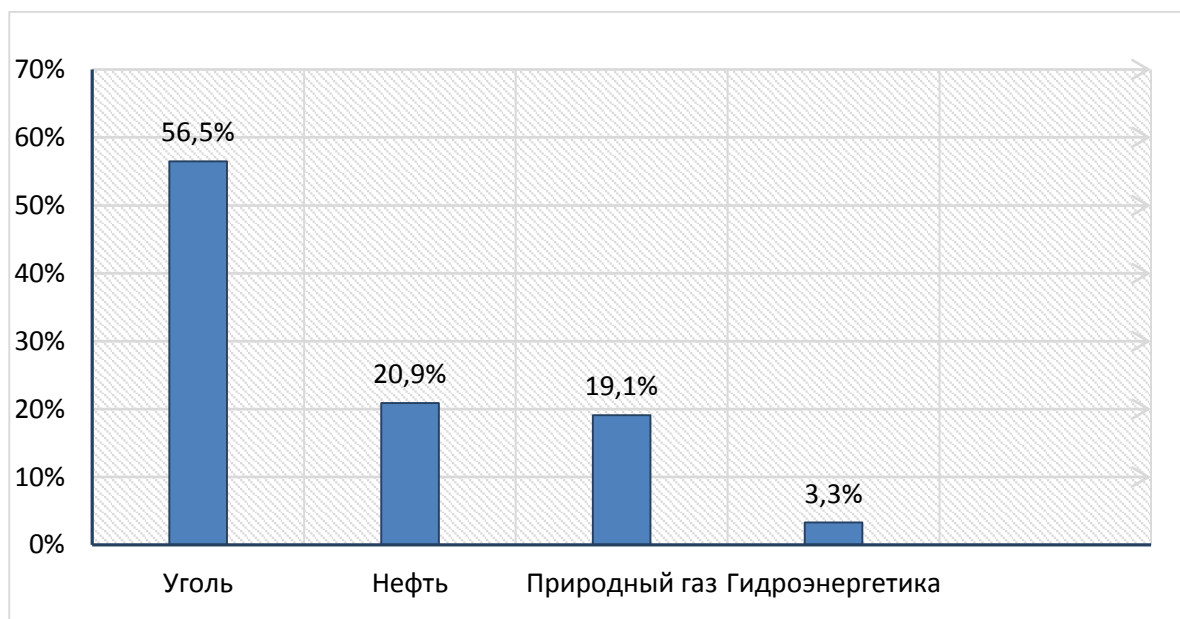


Рисунок 1.1 – Потребление первичных энергоресурсов в Казахстане

В Казахстане известно более 300 месторождений ископаемых углей с геологическими запасами (рисунок 1.2) 170,2 млрд т, из них более 9/10 сосредоточены в центральной и северной частях страны. Крупнейшими бассейнами являются Экибастузский (12,5 млрд т), Карагандинский (9,3 млрд тонн) и Тургайский (5,8 млрд т).

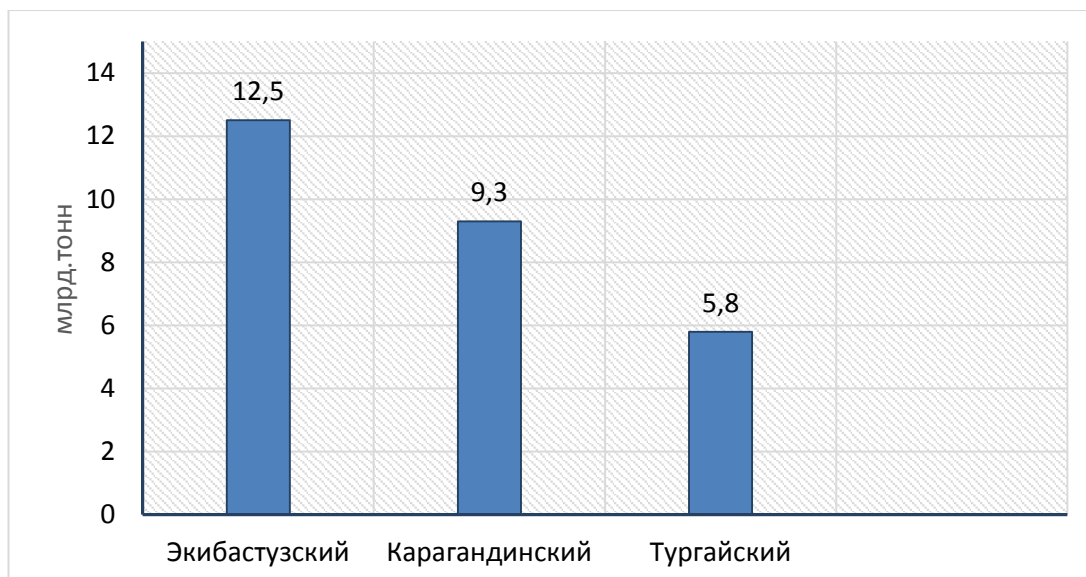


Рисунок 1.2 – Объемы угольных бассейнов

Наибольшие запасы и наиболее крупные каменноугольные бассейны, и месторождения относятся к отложениям карбона и юры – Карагандинский и Экибастузский угольные бассейны. Все известные запасы коксующихся углей находятся также в Карагандинском бассейне и месторождениях-спутниках – Самарском и Завьяловском. Бассейны и месторождения мезозойского возраста располагаются в изолированных впадинах территории обширных прогибов – Тургайского, Иртышского, Прибалхашского [8, с.26].

В региональной структуре производства по итогам 2018 года выделяется три области: Павлодарская область (60 % производства), Карагандинская область (34 %) и с серьезным отрывом – Восточно-Казахстанская (6 %). Большая часть угля в Казахстане – 70 % – добывается открытым способом на трех гигантских месторождениях (разрезы Богатырь, Северный и Восточный) в Экибастузском бассейне (Павлодарская область) и на четырех месторождениях Карагандинской области (Борлинское, Шубаркольское, Кушокинское и Сарыадырское). Оставшиеся объемы угля по большей части добываются подземным способом в Карагандинском бассейне (для нужд местных металлургических предприятий) и на Майкубенском месторождении (добыча лигнита).

Угольная промышленность является одной из крупных отраслей экономики Казахстана, в таблице 1.1 приведены данные по его использованию в народном хозяйстве страны в 2018 г [8, с. 27].

Запасов как энергетического, так и коксующегося угля будет достаточно в течение сотен лет, даже при активном наращивании добычи.

Важным для будущего угольной промышленности становится развитие высокотехнологичного угольной отрасли и реализация новых точек роста: обогащение угля, газификация угля, переработка синтез-газа с получением метанола, углехимия высокого передела, гидрогенезация угля, добыча метана из угольных пластов, каталитическая переработка метана.

Таблица 1.1 – Использование угля в народном хозяйстве

Потребители	Потребление
Производство электроэнергии	74%
Коксохимическое производство	100%
Топливо коммунально-бытового сектора и населения	100%
Доля потребления в металлургии от общего объема потребления	20%
Доля экспортируемого угля к производству	25,3%
Экспорт угля от всего экспорта Казахстана	1%

1.2 Обзор горно-геологических условий и оценка деформационных свойств Карагандинского угольного бассейна

Площадь. Площадь Карагандинского угольного бассейна составляет 3.6 тыс. км², его промышленными центрами являются города Караганда, Сарань, Шахтинск, Абай. Разведанные запасы угля по данным 2018 г. (таблица 1.1), подсчитанные до глубины 600 м, на отдельных площадях – до 800-900 м, составляют 9.3 млрд т, предварительно оценённые – 5 млрд т (1984 г).

Протяжённость Карагандинского угольного бассейна составляет 120 км при ширине 30-60 км. На юге и западе бассейн ограничен зонами разломов, на севере и востоке эрозионным срезом продуктивных каменных угольных отложений [9].

Строение. Строение Карагандинского угольного бассейна асимметричное: северные и восточные крылья пологие – 10-20°, южное – крутое, интенсивно нарушенное системой надвигов Жалаирской зоны. На западе продуктивные отложения срезаны крупным Тентекским разломом.

Карагандинский угольный бассейн разделен на Верхнесокурскую, Карагандинскую, Шерубай (Чурубай)-Нуринскую площади, осложнённые вторичной складчатостью (Тентекская, Дубовская и др. мульды) и многочисленными разрывными нарушениями поперечными Майкудукским и Алабаским поднятиями. В бассейне угленосны свиты: Ашлярикская, Карагандинская, Долинская, Тентекская, Дубовская и Михайловская.

Особенностями Карагандинского бассейна являются многообразие горно-геологических условий как по мощности разрабатываемых пластов, так и по углам их залегания, по характеристике вмещающих пород кровли и почвы, газоносности, глубине залегание, влажности углей и по степени выбросоопасности [10-11].

Мощность угольных пластов. Мощность каменных угольных отложений Карагандинского бассейна увеличивается в западном направлении от 1200 м в Верхнесокурской синклинали, до 3800 м в Тентекской. В каменных угольных отложениях содержится до 80 пластов каменного угля суммарной мощностью 110 м, в т.ч. 30 рабочих – мощностью 0,6-8 м.

Угли разрабатываются преимущественно на глубине 200-600 м. На

рисунках 1.2-1.3 представлены характеристики пластов Карагандинского бассейна по глубине залегания и их мощности. В таблице 1.3 – перспективная глубина разработок.

Таблица 1.2 – Глубины разработки угольных пластов

Участки по районам/шахты	Существующая глубина разработки, м	Перспективная глубина разработки, м
Промышленный участок	650-810	750-910
Саранский участок	540-640	640-740
Центральный участок Шерубай - Нуринского района	570-600	600-670
Долинский и Караджаро-Шаханский участки	540-600	600-650
Тентекский район	540-600	600-650

Вмещающие породы. Вмещающие породы Карагандинского угольного бассейна представлены чередованием песчаников, алевролитов, аргиллитов, мергелей и конгломератов.

На основании испытаний и обобщения данных, проведенных в институте горного дела им. А. А. Скочинского [12-15], установлены средние значения физико-механических свойств вмещающих пород для основных районов бассейна (таблица 1.4 – 1.5).

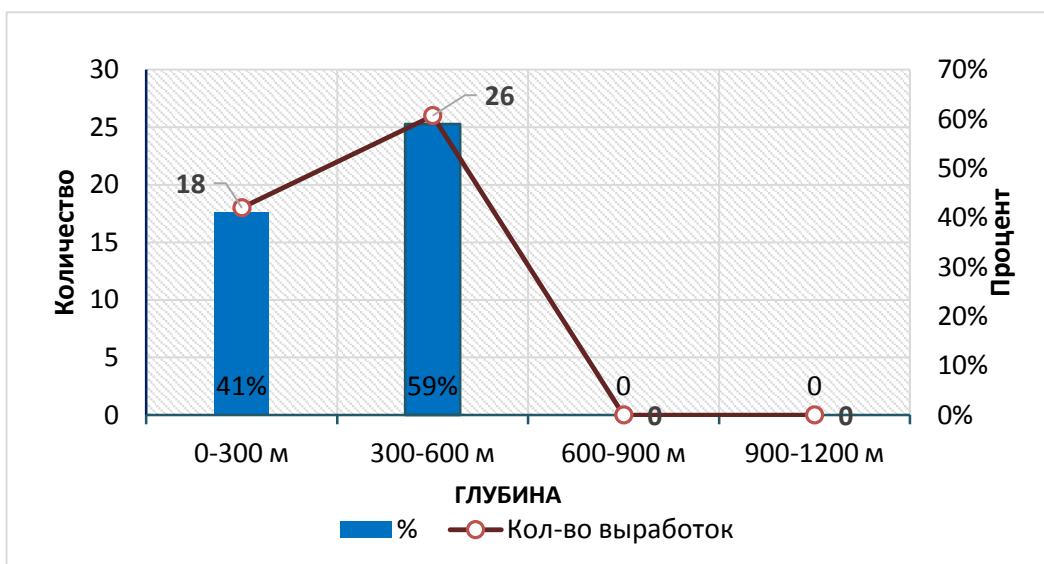


Рисунок 1.3 – Характеристика пластов Карагандинского угольного бассейна по глубине залегания

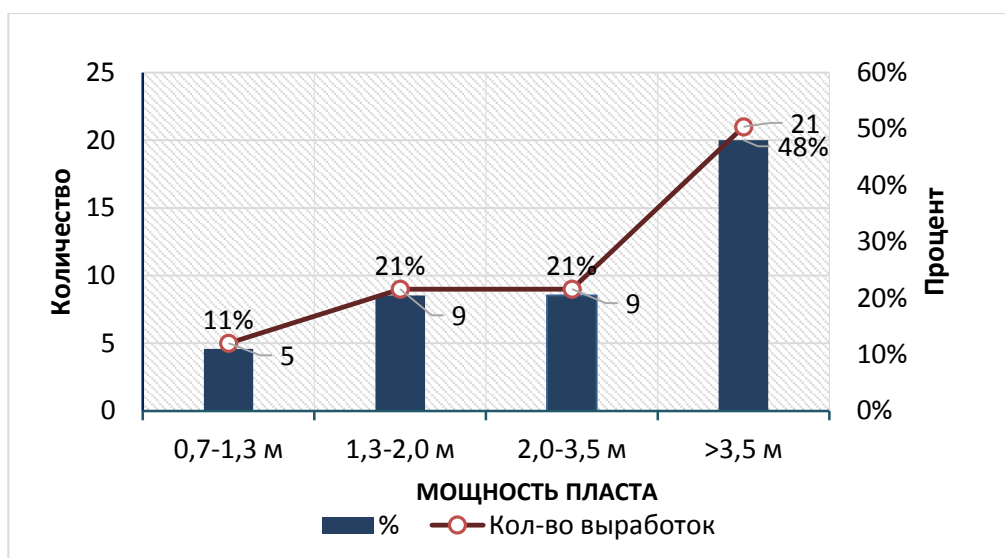


Рисунок 1.4 – Характеристика пластов Карагандинского угольного бассейна по их мощности

По результатам исследований пород Карагандинского угольного бассейна в таблицах 1.4-1.5 представлены их физико-механические свойства вмещающих пород.

Гидрогеологические условия. Гидрогеологические условия в западной части бассейна сложные за счёт повышенной обводнённости покровных отложений и зон дробления пород вблизи разрывных нарушений.

Наименьшей обводненностью характеризуются (таблица 1.6) шахты Карагандинского промышленного района, здесь притоки воды в горные выработки не превышают 16-30 м³/ч.

Таблица 1.3 – Физико-механические свойства вмещающих пород

Порода	Предел прочности на сжатие, кгс/м ²		Предел прочности на растяжение, кг/см ²	Модуль упругости $\times 10^{-5}$, кгс/см ²	Коэффициент Пуассона
	min	max			
Песчаники	590	670	75	2,5	0,25
Алевриты	300	380	38	–	0,24
Аргиллиты	120	170	26	–	0,25

Деформационные свойства массива горных пород. В Карагандинском угольном бассейне кровли преобладают среднеустойчивые, 50 % всех шахтопластов; доля малоустойчивых – 25 %; доля неустойчивых – 20 %; устойчивые – 5 %.

Большинство шахт, разрабатывающих угольные пласты на глубинах 200-500 м, практически сухие.

Породы почвы: среднеустойчивые 45 % шахтопластов; малоустойчивые – 20 %; неустойчивые – 20 %; устойчивые – 15 %.

Таблица 1.4 – Физико-механические свойства пород Тентекского, Саранского районов

Район Виды исследования	Тентекский				Саранский			
	Песча- ник	Алев- ролит	Аргил- лит	Уголь	Песча- ник	Алев- ролит	Аргил- лит	Уголь
Модуль упругости (Модуль Юнга), МПа	8500- 29000	4300- 21000	3700- 10500	3000- 3500	30500	27000	11200- 13600	2500- 4500
Коэффициент Пуассона	0,22- 0,25	0,28- 0,33	0,25- 0,28	0,33	0,22	0,2	0,21	0,26
Сопротивление сжатию, МПа	45-95	33-45	15-45	5-11	50-76	35-56	30-36	10-17
Сопротивление растяжению, МПа	10-16	7-13	1-6	1-1,8	5,4- 14,4	3,5-7,6	1,9-2,7	0,7- 1,3
Объемный вес, МН/м ³	2,61	2,37	2,31	1,32	2,6	2,4	2,2	1,3- 1,6
Сцепление, МПа	7,6- 18,5	4,7- 17,5	2,5-7,5	13,2,5 -	14,2	10,2	8,7	1,2- 3,6
Угол внутреннего трения, Градус	25-40	18-39	25-39	18-25	25	25	25	18-39

Примечания. GSI – геологический индекс прочности Хоека-Брауна (Geological Strength Index).

Интенсивность тектонической нарушенности возрастает по направлению к ограничивающим бассейн разломам и вблизи поперечных поднятий.

Тектоническую нарушенность угленосных районов и участков Карагандинского угольного бассейна приведены в таблице 1.7 [12, с. 106].

Условия освоения углей. В целом по бассейну 25 % балансовых запасов углей приурочены к участкам с простыми, 40 % – средними и 35 % – сложными условиями освоения. Условия производства горных работ в геологической среде выделенных участков в каждом конкретном случае определяются изменчивостью литологических типов углевмещающих пород, их свойств, состояния и поведения в горных выработках [11 с.8]

Наиболее сложные по условиям поддержания выработок относятся угольные пласты, представленные в таблице 1.8.

Углубление разработок и ведения горных работ на шахтах Карагандинского угольного бассейна привело к ухудшению следующих геологических условий и горно-геологических факторов: рост газообильности шахт; увеличение числа пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа и горным ударам; повышение температуры рудничного воздуха в горных выработках [16-20].

Таблица 1.5 – Физико-механические свойства пород Промышленного, Чурбай-Нуринаского районов

Район	Промышленный				Чурбай-Нуринаский			
Виды исследования	Песчаник	Алеврит	Аргиллит	Уголь	Песчаник	Алеврит	Аргиллит	Уголь
Модуль упругости (Модуль Юнга), МПа	8500-29000	4300-21000	3700-10500	3000-3500	8500-29000	4300-21000	3700-10500	3000-3500
Коэффициент Пуассона	0,22-0,25	0,28-0,33	0,25-0,28	0,33	0,22-0,25	0,28-0,33	0,25-0,28	0,33
Сопротивление сжатию, МПа	51-78	35-45	10-25	10-20	65 - 70	80 - 37	27-28	10 - 15
Сопротивление растяжению, МПа	5,1-7,4	3,7-4,7	2-2,2	1,5-2	5,3 - 5,6	2,8 - 4,7	2,2 - 2,4	0,5 - 1,2
Объемный вес, МН/м ³	2,61	2,5	2,48	1,64	2,58	2,5	2,42	1,57
Сцепление, МПа	14,2	10,2	8,7	1,2-3,6	14,2	10,2	8,7	1,2-3,6
Угол внутреннего трения, Градус	20-30	27-35	23	23	20-30	22-27	23	23
GSI	50	50	50	50	50	50	50	50

Таблица 1.6 – Коэффициент водообильности шахт Карагандинского угольного бассейна

Угленосный район бассейна	Коэффициент водообильности (ω), м ³ /т	Группа
Карагандинский	0,03-0,2	I
Шерубай-Нуринаский	0,28-1,8	I
Тентекский	0,12-0,3	I

Примечания. I (слабая водообильность), $\omega < 2$; II (средняя водообильность) $2 \leq \omega < 5$; III (сильная водообильность) $\omega \geq 5$

Также с увеличением глубины разработки резко возросла трудоемкость поддержания горных выработок (с 500 до 800 м – с 550 до 2000 чел./смен на 1 км), это объясняется тем, что область проявления опорного давления кроме как вокруг очистного забоя, распространяется также и на зоны, расположенные против краевых частей очистного забоя, где располагаются выемочные выработки [21-22]. На рисунке 1.5 представлена структурная колонка пласта К₁₉ и физико-механические свойства пород угленосной толщи [21, с. 19].

Пласт К₁₉ обладает общей мощностью от 2,2 до 5,6 м, при среднем значении 2,4 м с суммарной мощностью угольных пачек не более 0,5 м. Строение пласта сложное: состоит из 9-12 угольных пачек, мощностью от 0,05 до 0,15 м и 8-11 породных прослоев, сложенных аргиллитами, мощностью от 0,08 до 0,55 м.

Таблица 1.7 – Тектоническая нарушенность угленосных районов

Угленосный район бассейна	Участок района	Угол падения толщи, градус		Средняя протяженность разрывных нарушений, км	Отн-ное кол-во разрывных нарушений, 1/км ²	Отн-ная протяженность разрывных нарушений, км/км ²	Коэффициент дизъюнктивности, 1/км
		от-до	сред-ний				
Карагандинский	Промышленный (центр)	5-25	15	1,0	0,2	0,2	0,35
	Саранский	10-30	20	1,6	0,8	1,8	0,58
Шерубай-Нурунский	Южный	15-60	37	1,9	1,8	3,4	1,52
	Центральный	10-30	20	2,4	1,2	2,9	1,04
	Караджаро-Шаханский и Долинский	0-40	20	2	0,7	1,4	1,1
Тентекский	Тентекский	5-30	17	1,2	0,8	1	0,5

Таблица 1.8 – Сложные по условиям поддержания выработок угольные пласты

Районы/Участки	Угольный пласт
Промышленный район	К ₁₈ , К ₁₄ , К ₁₃ , К ₄ , К ₃ , К ₂
Саранский и Шаханский участки	К ₁₀ , К ₇ , Д ₇
Шерубай-Нурунский район	К ₁₃ , Д ₂ , Д ₁

Общая зольность пласта составляет свыше 60 %, угольной массы – 28-29 %, выход летучих до 20 %, влажность пласта – от 4,5 до 6,0 %, углы залегания – 10-15°.

Вмещающие породы представлены следующими типами:

– основную кровлю пласта слагают песчаники, мощностью до 18 м, крепостью до 55 МПа;

– непосредственную кровлю пласта слагают аргиллиты, мощностью до 1,5 м, крепостью до 24 МПа;

– в почве пласта залегают алевролиты и аргиллиты, мощность толщи до 19,8 м при крепости алевролитов до 35 МПа, аргиллитов - до 23 МПа.

С глубины 270 м пласт К₁₉ отнесен к категории угрожаяемых по выбросам угля и газа.

Выводы. Общая характеристика Карагандинского угледобывающего бассейна (таблица 1.9): Карагандинский угольный бассейн занимает площадь около 3,6 тыс. км²; угленосные отложения нижнего карбона образуют две замкнутые мульды, разделенные сложной антиклинальной структурой; преобладает пологое залегание, осложненное многочисленными нарушениями в виде надвигов и сбросов.

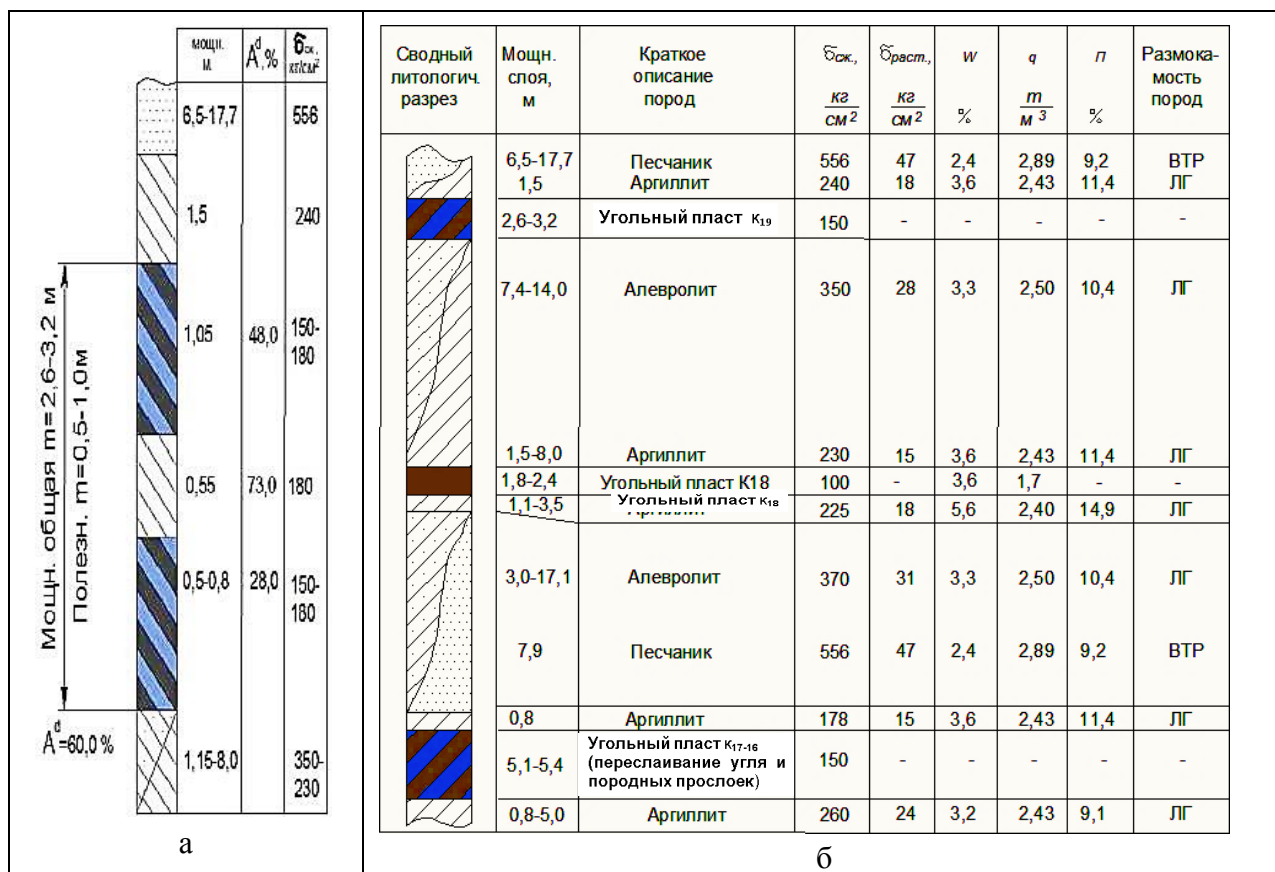


Рисунок 1.5 – Структурная колонка пласта K_{19} (а) и физико-механические свойства пород угленосной толщи (б)

Мощность пластов изменяется от 1 до 8 м. Промышленные запасы мощных пластов составляют 40% всех промышленных запасов [23-26] бассейна. К мощным пластам относятся K_{12} (5,6-8 м), K_{10} (2,0-4,4 м), D_6 (2,5-7,0 м), K_7 , K_{13} , (2,5-7,0 м), в которых используется двух слоевая система разработки.

Строение пластов обычно сложное, в связи, с чем зольность угля многих пластов достаточно высока. Особенность бассейна – высокая газоносность пластов. Обводненность горных выработок невелика, до 100-200 м³/ч.

Таблица 1.9 – Характеристика Карагандинского угледобывающего бассейна

Показатели	Значения
Площадь, тыс. км	3,6
Средняя мощность разрабатываемых пластов, м	2,28
Угол падения пластов – % пологих	90
Рабочих пластов/всего	20/69
Геологические запасы, млрд т	65
Балансовые запасы, млрд т	9,7
Средняя глубина разработки, м	500-550
Газоносность, м ³ /т	55-40
Боковые породы	средней устойчивости и неустойчивые
Объем добычи млн т/год	13

1.3 Обзор применения видов крепей на шахтах Карагандинского угольного бассейна

В настоящее время на шахтах Карагандинского угольного бассейна применяется только комбайновая проходка горных выработок и исключен опасный, трудоемкий буровзрывной способ.

Процесс крепления горных выработок в общем цикле проходки занимает от 25 до 50 % времени и затрат труда. И является одним из основных факторов, снижающих темпы проведения горных выработок и производительность труда проходчиков.

Основные показатели по использованию видов крепей на шахтах Карагандинского угольного бассейна представлены таблицах 1.10-1.11. [26, с. 13, 21, с.18].

Крепи, выполненные из тяжелых профилей специального проката (арочная крепь), в условиях значительного напряженного состояния горного массива не обеспечивают необходимой устойчивости и безремонтного поддержания выработок. Доля других крепей, применяемых при сооружении горизонтальных и наклонных горных выработок, не столь значительна и составляет для монолитных бетонных крепей – 8,6 %, тюбинговой – 2,9 %, анкерной – 1,1 %, железобетонных стоек с металлическим верхняками – 1,1 %, деревянной крепи – 0,7 % [8, с. 26].

Технико-экономические показатели крепления горных выработок с различными видами крепи, применяемыми на шахтах Карагандинского бассейна представлена на рисунках 1.6 – 1.7 [21, с.86].

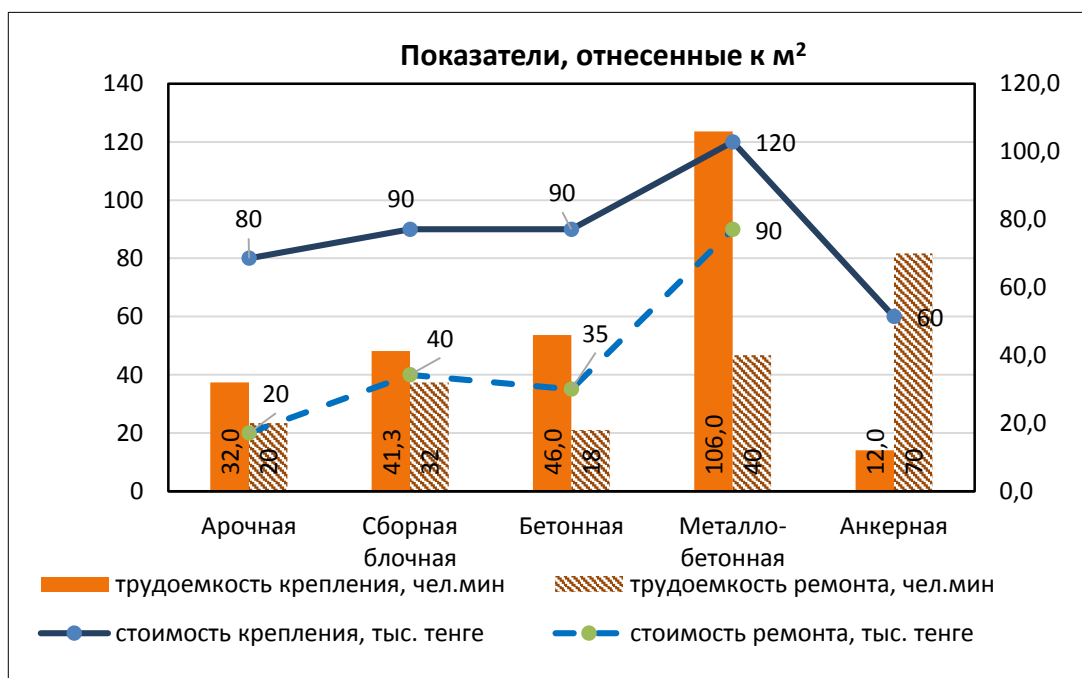


Рисунок 1.6 – Экономические показатели видов крепления горных выработок

Применяемые типы шахтных крепей на шахтах Карагандинского угольного бассейна в основном требуют больших затрат ручного труда при возведении и, в большинстве случаев, нетехнологичны. Уменьшение проектного сечения выработки при металлоарочной крепи достигает до 48 %, а при анкерно-арочной комбинированной – не более 20 %.

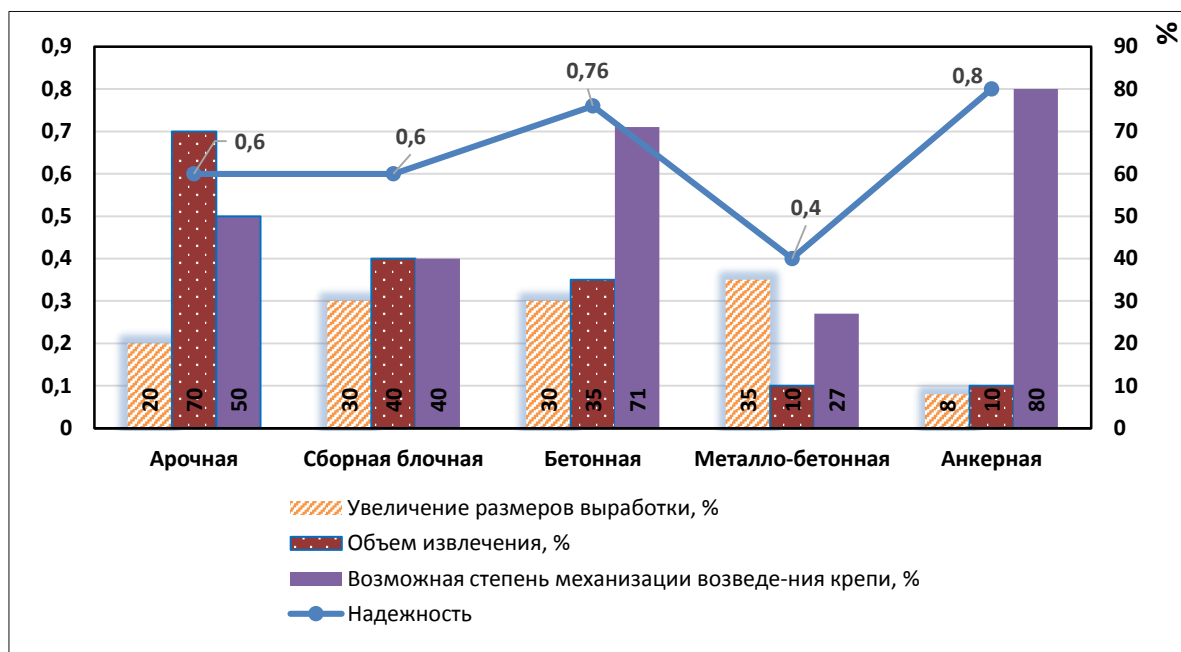


Рисунок 1.7 – Эксплуатационные показатели видов крепления горных выработок

Таблица 1.10 – Основные показатели по использованию видов крепей на шахтах Карагандинского угольного бассейна

Показатель	Ед. изм.	Годы работы						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Проведение горных выработок, закрепленных крепью:	км	60	60	55	55	56	58	60
- арочной		35,4	34	29,8	13	14	11	12
- комбинир-й		11,8	13,5	20	31	31	32	28
- анкерной		4,1	6,5	10,7	11	11	12	20
Объем выработок на лаву	км/ лаву	4	4,5	5	5	5	5	5
Стоимость:	тыс.тг/м							
- арочной		75	78	85	100	100	100	100
- комбинир-й		60	60	66	80	80	80	80
- анкерной		50	55	60	65	65	65	65

Продолжение таблицы 1.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уд.объем проходки	м/1000 т добычи	4,2	4,9	5,4	5,4	5,3	5,3	5,3

Таблица 1.11 – Расход крепежных материалов на 1 пог. м дренажного штрека 222к₁₉-с шахты «Абайская»

Наименование	Размер	Количество	Цена за шт., тенге	Общая стоимость, тенге
Анкер металл. АМВ + гайка М22 + плита	2,4м	17	1718,63	29 216
Сетка ММ	1,225x1,22	10	794	7 940
Штрипс	4400мм	1	2 164	2 164
Ампулы АМК	600мм	34	250	8 500
Ампулы АМК	300мм	17	125	2 125
Устройство удержания ампул		17	35	595
ИТОГО:				50 540

Решить проблему можно путем изыскания и разработки прогрессивных и экономичных видов крепи. Одним из таких видов крепи является анкерная, которая относится к крепям бесподпорного типа. Видно, что на протяжении последних лет идет переход крепления выработок на чистое анкерное крепление, но необходимо отметить преобладающее в настоящее время комбинированное и двухуровневое анкерное крепление.

Перспективным направлением является применение полиэстеровой сетки, проводимых как в чистом, так и смешанном виде. Преимущества – небольшой вес, не подвержена коррозии, увеличение скорости крепления (рисунок 1.8) [21, с.39].



а



б

Рисунок 1.8 – Кровля с анкерным креплением (а) дренажного штрека 222к₁₉-с шахты «Абайская» и комбинированным креплением для конвейерного бремсберга 40к₇-в шахты им. Костенко Карагандинского угольного бассейна

Выводы: Актуальная задача в области совершенствования крепления горных выработок состоит в постепенной замене металлической арочной крепи на другие, более прогрессивные и экономичные, поддающиеся механизации и со значительно меньшей трудоемкостью, материалоемкостью и стоимостью.

1.4 Оценка устойчивости и анализ дефектности горных выработок шахт Карагандинского бассейна

Для исследования влияния горно-геологических, горно-технологических факторов на устойчивость выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна были проведены наблюдения на 51 выработке (Приложение В) на предмет их дефектности [27].

Все исследуемые выработки были разбиты на две подгруппы: проведенные параллельно направлению максимальных горизонтальных напряжений (север-юг) и перпендикулярно им. При существующей планировке горных работ выделить выработки строго параллельные или перпендикулярные направлению север-юг достаточно сложно, а порой и невозможно, разделение наблюдаемых выработок на группы производилось с учетом некоторых допущений.

К параллельным были отнесены выработки, расположенные в диапазоне углов $0^\circ \pm 45^\circ$ и $180^\circ \pm 45^\circ$, попадающие в остальные диапазоны, отнесены к перпендикулярным (за 0° принимался север).

Исследования производились с учетом следующих факторов:

- расположение выработки: в целике, в присечку, в зоне влияния очистных работ, вне ее;
- вид крепления: металлоарочное, смешанное (металлоарочное + анкерное) и анкерное.

Выводы по проведенному анализу результатов проведенных наблюдений представлен в таблицах 1.12-1.13 [27, с. 120].

Таблица 1.12 – Влияние расположения выработки на ее устойчивость

Расположение выработки	Результаты наблюдений	Выводы
1	2	3
Вне зоны влияния очистных работ	– Разность между конвергенцией кровли-почвы не превышает 9 %; – Уменьшение проектных сечений выработок составляет 0,7 %	Направление заложения выработки не играет существенной роли на их устойчивость
Вне зоны влияния очистных работ	– Смещения со стороны кровли-почвы больше, чем с боков выработок; – Конвергенция со стороны боков параллельных выработок на 24 % меньше, чем у перпендикулярных	Преобладает влияние вертикальной составляющей горного давления

Продолжение таблицы 1.12

1	2	3
В зоне влияния очистных работ	– Конвергенция со стороны кровли-почвы на 37 %, со стороны боков на 34 %, проектного сечения выработок на 44 % меньше в параллельных выработках	Выработки, пройденные параллельно направлению север-юг, более устойчивые
В зоне влияния очистных работ	– Смещения с боков больше, чем со стороны кровли-почвы выработок	Преобладает влияние горизонтальных напряжений
В целике	– Конвергенция в параллельных выработках меньше, чем в перпендикулярных	Выработки, пройденные в целике, имеют большую устойчивость по сравнению с пройденными в присечку

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что заложение участковых подготовительных выработок параллельно направлениям максимальных горизонтальных напряжений благоприятно сказывается на их устойчивости.

Поэтому мероприятия по управлению горным давлением всегда направлены:

- или на снижение действующих напряжений;
- или на повышение прочности массива.

Таблица 1.13 – Влияние срока службы выработки на ее устойчивость

Срок службы	Менее 1 года		От 1 года до 5 лет		Более 5 лет	
	Парал- лельное	Перпенди- кулярное	Парал- лельное	Перпенди- кулярное	Парал- лельное	Перпенди- кулярное
Конвергенция, м: – боков; – кровли/ почвы	0,22	0,55	0,21	0,28	0,42	0,26
	0,23	0,51	0,37	0,28	0,36	0,29

В подготовительных выработках управление горным давлением осуществляется выбором способа проходки, формы поперечного сечения направления проходки. Если данных мероприятий оказывается недостаточно, то для поддержания выработок в устойчивом состоянии в них устанавливают различные виды крепи (таблица 1.14).

На основании анализа и обобщения результаты исследований можно сделать следующие выводы:

- наименьшее смещение соответствует анкерному креплению, наибольшее – смешанному;

– при металлических рамных креплениях выработки, пройденные параллельно направлению север-юг, находятся в более благоприятных условиях, чем перпендикулярные (конвергенция со стороны кровли-почвы меньше на 33 %, со стороны боков на 36 %, уменьшение проектного сечения на 30 %);

– при смешанном креплении наблюдается следующая картина: конвергенция практически равнозначна как для параллельных, так и для перпендикулярных выработок, расхождение составляет 6-7 %. Однако уменьшение сечения выработок у параллельных на 16 % больше. Такие результаты можно объяснить незначительным объемом статистических данных; кроме того, смешанной крепью выработки, как правило, крепятся в зонах ПГД, геологических нарушений, которые оказывают дополнительное влияние на перераспределение напряжений в массиве вокруг выработки.

– при анкерном креплении конвергенция со стороны боков выработки при параллельном ее расположении на 33 % меньше, а конвергенция кровли-почвы на 17 % больше, чем при перпендикулярном. Уменьшение проектного сечения выработок не превышает 10 %, что позволяет сделать вывод о том, что применение анкерного крепления позволяет нейтрализовать негативное влияние горного давления при различных направлениях заложения горных выработок.

Таблица 1.14 – Влияние вида крепления выработки на ее устойчивость

Вид крепления	Металл		Комбинированное		Анкер	
	Парал- лельное	Перпенди- кулярное	Парал- лельное	Перпенди- кулярное	Парал- лельное	Перпенди- кулярное
Конверген- ция, м: – боков; – кровли/ почвы	0,23	0,32	0,43	0,48	0,2	0,23
	0,36	0,48	0,4	0,51	0,3	0,19
Уменьшение сечения, %	10,9	15,05	19,1	6,12	7,84	8,26

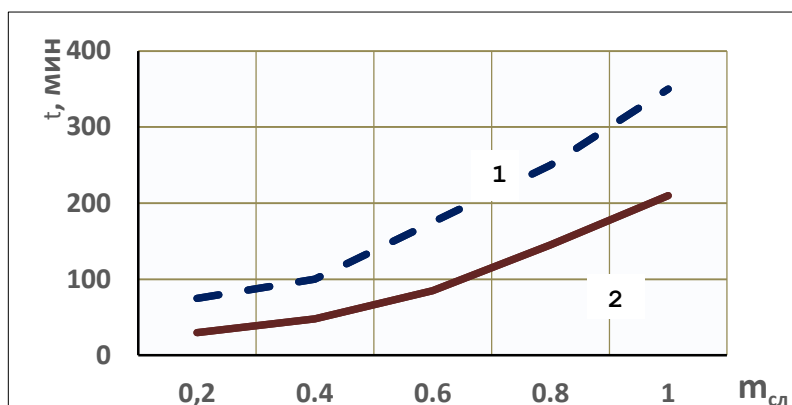
Сложность задачи по повышению устойчивости породных обнажений горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна в значительной мере обусловлена большим разнообразием *горно-геологических условий* – по мощности и углу падения пластов, строению и прочности вмещающих пород и др.

Было установлено, что наиболее существенно влияющими на устойчивость породного обнажения являются следующие горно-геологические факторы:

– *слоистость* – при прочности слоев на одноосное сжатие 50-60 МПа и мощности их более 0,8 м породные обнажения кровли сохраняют устойчивое состояние свыше 2 ч.

При мощности слоя от 0,1 до 0,4 м и прочности пород при сжатии до 40 МПа время устойчивого состояния сохраняется в пределах часа, а при мощности

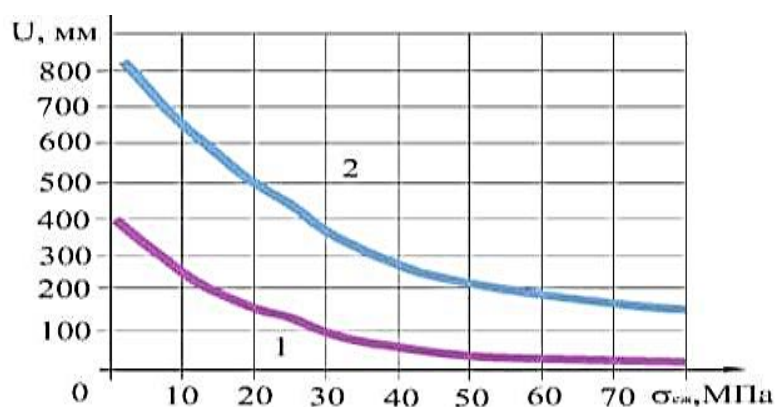
слоев менее 0,1 м, что характерно для ложной кровли, время их устойчивого состояния составляет до 0,6-0,3 ч. За счет слоистости прочность пород кровли пластов снижается в 1,5-4,0 раза (рисунок 1.9).



1 – алевролитов и песчаников; 2 – алевролитов и песчаников, с включением прослоек угля мощностью 50-80 мм

Рисунок 1.9 – Зависимость времени устойчивого состояния породного обнажения кровли (t) от мощности слоя ($m_{сл}$) при его сложении слоями

На рисунке 1.10 [28] представлена зависимость смещений пород кровли от прочности пород алевролитов на сжатие. Проведение выемочных выработок с присечкой легкообрушающихся пород кровли приводит к увеличению площади поперечного сечения на 9-18 % по сравнению с проходкой их, при прочих равных условиях, без присечки и выемки этих пород. Проведение смешанным забоем выработок по пластам с кровлей средней устойчивости и устойчивой без присечки пород кровли обеспечивает, по сравнению с присечкой, снижение их смещения в 1,3-1,4 раза. Проходка выработок с присечкой пород кровли пласта, в особенности прочных и слоистых, приводит к образованию неровностей с расслоением кровли;



1, 2 – вне и в зоне влияния горных работ

Рисунок 1.10 – Зависимость смещений пород кровли (U) от прочности пород алевролитов на сжатие ($\sigma_{сж}$)

– *трещиноватость* – в сильнотрещиноватых, нарушенных породах, залегающих в основном над угольными пластами (преимущественно ложная

кровля), с расстоянием между трещинами от 0,01-0,2 м, их устойчивость обычно не превышает 0,3 ч, породы слабые, сильнотрещиноватые от 0,3- 0,5 м, с пределом прочности при сжатии 20-40 МПа, устойчивы в течение 0,5-1,5 ч, породы массивные, трещиноватые 0,6-1 м, прочность 40-50 МПа, устойчивы в течение 2,0-3,5 ч. За счет трещиноватости прочность пород кровли пластов снижается в 3-15 раз (рисунок 1.11);

– *влажность* – песчаники на карбонатном цементе при увеличении влажности теряют прочностные характеристики примерно на 5 %, алевролиты на кремнистом и карбонатно-кремнистом цементе – 14 %, алевролиты с глинистым цементом – 20-30 %, аргиллиты – 40-60 % и углистые аргиллиты до 80 %. В ходе проведенных исследований за влиянием влажности на устойчивость пород кровли в призабойном пространстве проводимых пластовых выработок было выявлено:

– что песчаники и алевролиты не размокают независимо от времени нахождения в водной среде и коэффициент размягчения $K_p = 0,97-1,0$;

– аргиллиты, алевролиты, углистые алевролиты и аргиллиты, слабые и нарушенные алевролиты при большой влажности в течение 3-9 ч размокают и разрушаются на мелкие кусочки, вследствие чего теряют практически полностью устойчивость. Коэффициент размягчения для углистых и нарушенных алевролитов и аргиллитов прочностью менее 40 МПа составляет $K_p = 0,5-0,7$.

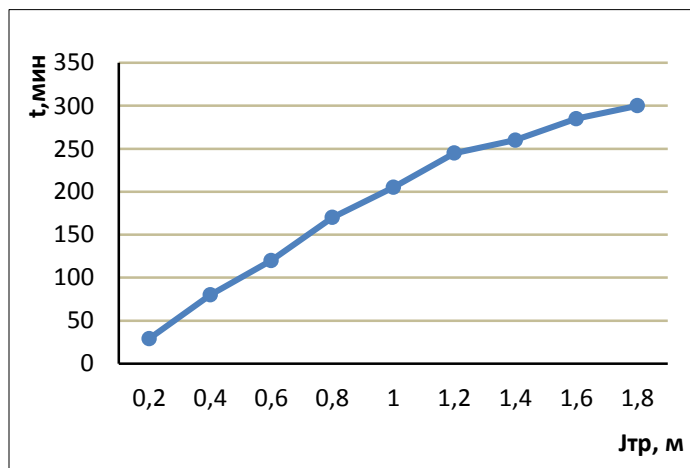


Рисунок 1.11 – Зависимость времени устойчивого состояния породного обнажения (t) от расстояния между трещинами ($J_{тр}$)

Установлены наиболее существенно влияющие *горнотехнические факторы*:

– *ширина выработки* – при увеличении ширины выработки от 4 до 5 м смещения в выработке увеличиваются на 23-28 %;

– *глубина расположения* – основной причиной ухудшения состояния подготовительных выработок является снижение отношения прочности пород к геостатическому давлению с ростом глубины горных работ. Увеличение глубины расположения от 450 до 600 м в пластах мощностью 1,6-3,5 м ведет к

росту смещений кровли в породах с $\sigma_{сж} < 45$ МПа в 3-3,5 раза, в породах $\sigma_{сж} = 45-80$ МПа – соответственно в 2,0-2,4 раза. На рисунке 1.12 [28, с. 269] приведен график смещений пород кровли в выработках вне и в зоне влияния очистных работ в зависимости от мощности слоев ($m_{сл}$) и глубины расположения (H);

– способ охраны выработки:

– в массиве угля – смещение кровли, представленной прочными породами $\sigma_{сж} < 50-65$ МПа, не превышает 40-50 мм, породами средней прочности $\sigma_{сж} < 30-40$ МПа – 70-90 мм и слабыми породами $\sigma_{сж} < 15-30$ МПа – 110-150 мм. Влияние опорного давления на выемочные штреки на глубине 300-400 м распространяется на 40-45 м впереди забоя лавы, а на глубине более 500 м – на 60-80 м. До попадания в зону влияния очистных работ смещение кровли выемочных выработок происходит обычно равномерно, в зоне влияния очистных работ протекает в 1,5-2,5 раза быстрее со стороны лавы, чем со стороны массива угля;

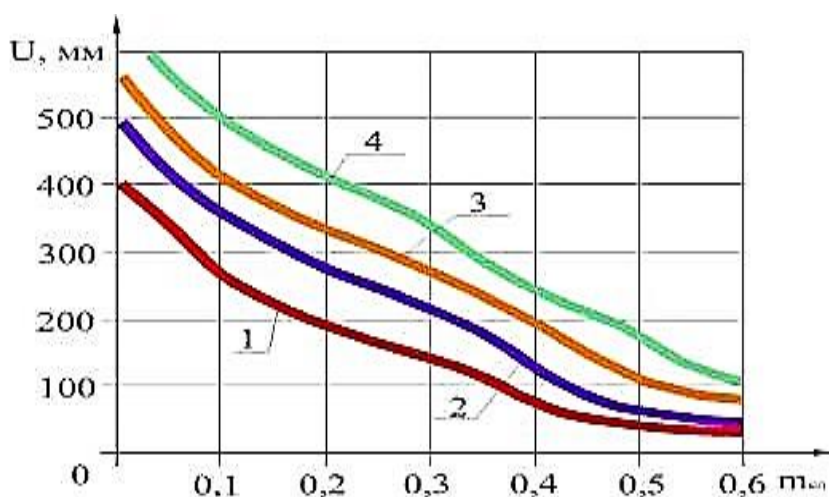


Рисунок 1.12 – Зависимость смещений пород кровли в выработках (U) вне (1, 2) и в зоне влияния (3, 4) горных работ в зависимости от мощности слоев ($m_{сл}$)

– бесцеликовый – выемочные выработки лав испытывают вредное взаимного влияния очистных и подготовительных работ в соседних столбах: не менее 50-75 м – на глубине расположения до 450 м, 80-100 м;

– на глубине расположения более 450 м и 100-120 м – на глубине расположения более 600 м;

– в выработках, которые проводили вприсечку через 10-12 мес. и более после отработки соседней лавы, смещение пород кровли за срок службы в 1,8-2,0 раза меньше, чем в выработках, которые проводили до отработки соседнего столба.

Выводы:

1) Анализ и обобщение результатов обследования состояния выработок шахт Карагандинского угольного бассейна показали:

– на стадии проходки примерно в 25-30 % из них происходят опасные

деформации и потеря устойчивости породных обнажений;

– при эксплуатации повышенные деформации характерны для 40 % выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ и 60 % – при нахождении их в зоне влияния очистных работ.

2) Потеря устойчивости породных обнажений приводит к снижению скорости проведения выработок на 40-45 % и увеличению расхода крепежных материалов. Также, 35-40 % несчастных случаев при горно-подготовительных работах обусловлены потерей устойчивости породных обнажений и обрушением пород кровли и боков выработок. Работы по заделке вывалов пород в выработках довольно трудоемки и связаны с дополнительным расходом крепежных и других материалов [28, стр. 265].

1.5 Анализ конструкций анкерных крепей и условий их применения на шахтах Карагандинского угольного бассейна

Конструкции применяемых анкерных крепей и систем условно можно разделить по следующим классификационным признакам [29-41] (таблица 15):

Таблица 1.15 – Классификационные характеристики анкерных крепей

Характеристика	Значение
1	2
Функциональные характеристики	
Схема работы анкерov	– подшивка пород; – армирование пород; – усиливающая крепь
Состояние анкера в момент установки	– активная, нагружает массив непосредственно с момента установки анкера; – пассивная, при установке анкер не играет никакой роли в поддержании, пока не начнется сдвиг массива, крепь не нагружается
Характер работы анкера	– жесткая; – податливая
Системы анкерного крепления	– одноуровневое; – двухуровневые; – комбинированные
Характеристики крепления	
Способ крепления	– механический; – химический; – взрывной
Механизмы закрепления в массиве горных пород	– с механическим закреплением анкерных стержней в шпуре (замковые, винтовые, фрикционные, комбинированные анкеры); – с закреплением химическими твердеющими составами; – комбинации этих типов
Механизмы закрепления в массиве горных пород	– с механическим закреплением анкерных стержней в шпуре (замковые, винтовые, фрикционные, комбинированные анкеры); – с закреплением химическими твердеющими составами; – комбинации этих типов

Продолжение таблицы 1.15

1	2
Виды замков анкеров	— клинощелевые; — распорные; — винтовые
Характер закрепления анкеров в породах	— с закреплением в донной части скважины (замковые анкеры); — с закреплением по всей длине скважины или значительной ее части
Классификация химических анкеров	— с "точечным" закреплением и по всей длине; — по типу химсостава (полимер, минеральное быстросхватывающее вещество); — по технологии возведению (ампульной, нагнетательной) и др.
Конструктивные характеристики	
Материал анкера	— металлический; — железобетонный; — деревянный; — сталеполимерный
Полость анкера	— трубчатый; — сплошной; — комбинированный
Механические характеристики анкеров	— усилие на разрыв; — усилие на срез; — усилие на выдергивание; — коэффициент армирования; — рабочее сопротивление

Металлический жесткий анкер. Анкер – металлический жесткий стержень, который монтируется в кровлю или боковую стенку выработки и используется в сочетании с полной заливкой смолой (цементным раствором) в шпуре (скважине) или каким-либо другим соответствующим веществом для обеспечения упрочненной кровли и боков выработки.

Стеклопластиковый анкер. Стеклопластиковый анкер – стержень, изготовленный из стекловолоконных материалов, и характеризуется высокой прочностью на растяжение. Закрепление анкеров в шпурах производится при помощи полимерных ампул или полимерных составов.

На шахтах Карагандинского угольного бассейна на крепление и поддержание горных выработок анкерной крепью используются современные элементы крепления фирмы ТОО СП «Минова-Казахстан» (ампул полиэфирных с разным временем твердения и любой длины, витых анкеров со срезными штифтами, штрипсов, досылочных трубок, крепежных «парашютов» буровых установок). Наиболее широко применяются анкеры с полимерным закреплением по всей длине.

На рисунке 1.13 представлен сталеполимерный анкер, применяемый на шахтах Карагандинского угольного бассейна.

Для изготовления стержня анкера металлического должна применяться сталь арматурная класса А-III (А-400) ГОСТ 5781, А 400с. Допускается замена

материала на классы А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А1000). Временное сопротивление растяжению прутков для анкера не менее 240 МПа. Диаметр стержня для анкера металлического типа АМ не менее 22 мм, для типа АВ не менее 20 мм. Отклонение прямолинейности стержня не должно превышать 1,5 мм на 1 м длины и 5 мм. на всей длине.

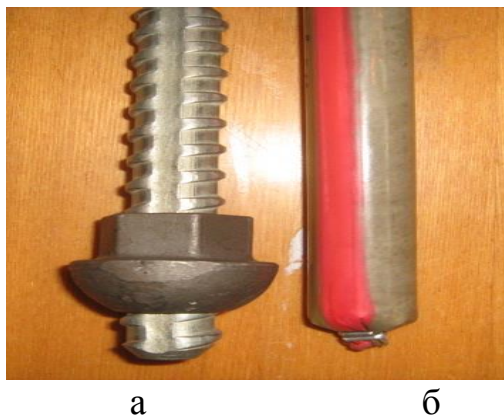


Рисунок 1.13 – Сталеполимерный анкер (а), полимерный наполнитель (б), применяемые на шахтах Карагандинского угольного бассейна

На торце стержня заусенцы и неровности, образующиеся при рубке, не должны превышать 2 мм.

Могут также применяться и составные металлические анкера (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Составной металлических анкер

Канатные анкера применяются в сложных горно-геологических условиях (рисунок 1.15, таблица 1.17).

Проволочный канатный анкер KLV. Диаметр каната 18мм, включает металлическую трубку, одетую на анкер и расположенную возле устья шпура. Функция трубки – жёсткий элемент, исключающий при перемешивании ампул в шпуре произвольное неуправляемое вращение каната вокруг анкерной установки.

Канатный анкер с цанговым замком. Длина шпура под канатный анкер с цанговым замком равна длине каната минус 0,4м для установки натяжителя. Устанавливается канатный анкер на специальный цементный раствор. Для

приготовления цементного раствора можно использовать нагнетательные установки типа – UNI40, MAI 400, с ручным приводом.

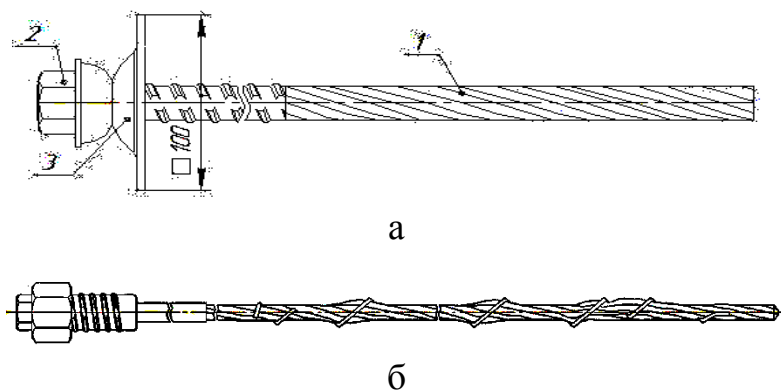


Рисунок 1.15 – Общий вид канатных анкеров. а – канатный анкер АК01 (-08, -14) для химических и минеральных скрепляющих составов; б – канатный анкер КАГ-20. 1 – стержень анкера сварной, 2 – гайка, 3 – шайба опорная

Основные требования, предъявляемые к анкерам представлены в таблице 1.16.

Таблица 1.16 – Основные требования, предъявляемые к анкерам

Показатели	Тип анкера		
	Металлический арматурный	Пластиковый	Канатный
Предел текучести стали, кг/мм ²	30	–	–
Усилие на разрыв, т	20-30	10	50
Диаметр по длине стержня	Без уменьшения	Без уменьшения	Без уменьшения
Форма навивки арматуры	Витая	Витая	-
Наличие штифтов в гайке и анкере	Обязательно на витых анкерах	-	-
Диаметр, мм	22	22	20-25
Усилие срыва гайки, т	20-30	10	50
Форма опорной плитки	Сфера	Сфера	Сфера
Длина анкера, м	1,8-3,0	1,8-2,5	4-8

Технические характеристики анкеров, применяемых на шахтах Карагандинского угольного бассейна представлены в таблицах 1.17-1.18.

Предъявляемыми критериями качественной установки анкеров являются следующие:

- выступающая в выработку часть анкера не должна превышать 150 мм;
- гайка на анкере должна быть затянута с моментом: для кровли – не менее 200 Нм, для бока – не менее 100 Нм; диаметр скважины (шпура) превышает диаметр стержня анкера на 6мм;
- длина скважин (шпуров) принимается с учетом толщины затяжки, верхняка и элементов податливости на 50-150 мм меньше длины стержней.

Таблица 1.17 – Техническая характеристика анкеров, применяемых на шахтах Карагандинского угольного бассейна

Основные параметры и размеры	Значения
1	2
Диаметр стержня, мм	22-24
Шаг витой арматуры, мм	8-3
Предел текучести стали, МПа	640-20
Усилие на разрыв, т	25-30
Длина анкеров, м	1,6-2,4
Стоимость 1 анкера L =1,6 м, тенге	1297
Стоимость 1 анкера L =2,4 м, тенге	1719

Таблица 1.18 – Технические характеристики канатных анкеров, применяемых на шахтах Карагандинского угольного бассейна

Основные параметры и размеры	Типы анкеров	
	KLW- Польша	Канат с цанговым замком
Интервал закрепления, мм	По всей длине или только до трубки	По всей длине
Диаметр каната, мм	18	15 и 18
Разрывное усилие каната, кН	500	350-500
Несущая способность цангового замка, кН	–	400
Несущая способность резьбового замка, кН	450	-
Рекомендуемая величина предварительного натяжения, кН	30	30
Метод закрепления	ампулы	раствор цемента
Относительное удлинение каната при предельной величине несущей способности, %, не более	2	2

Максимальная величина начального натяжения анкеров должна быть 50 кН±5кН.

Требования к анкерным системам крепления, применяемым на шахтах Карагандинского угольного бассейна следующие:

- диаметр шпура – 28 мм;
- диаметр арматурного анкерного стержня – 22 мм;
- длина: кровельных анкеров 2,4 м и боковых анкеров – 1,8 (пластиковые, при очистных работах) – 2,4 (металлические) м.

Анкеры, применяемые на угольных шахтах приведены в Приложении Г.

Возведение конструкций анкерной крепи производится после выполнения работ по выемке и погрузке горной массы.

Для обеспечения устойчивости выработок, закрепленных анкерной крепью на протяжении всего срока эксплуатации, в том числе в зоне влияния очистного выработанного пространства, геологических нарушений, повышенного горного

давления, а также при наличии критических смещений пород кровли, выявленных в ходе инструментального контроля, возводиться крепь усиления.

По проведенным исследованиям [41, с. 12] на шахтах Карагандинского угольного бассейна, начиная с 2008г, им. Костенко, им. Кузембаева, «Казахстанская» и Саранская наблюдается тенденция к переходу на чистое анкерное крепление. На шахтах «Шахтинская», «Абайская», им. Ленина, «Тентекской» используется в большей степени комбинированная крепь. Анализ графика (рисунок 1.16) показывает, что наблюдается тенденция переход на самостоятельные одноуровневые анкерные крепи.

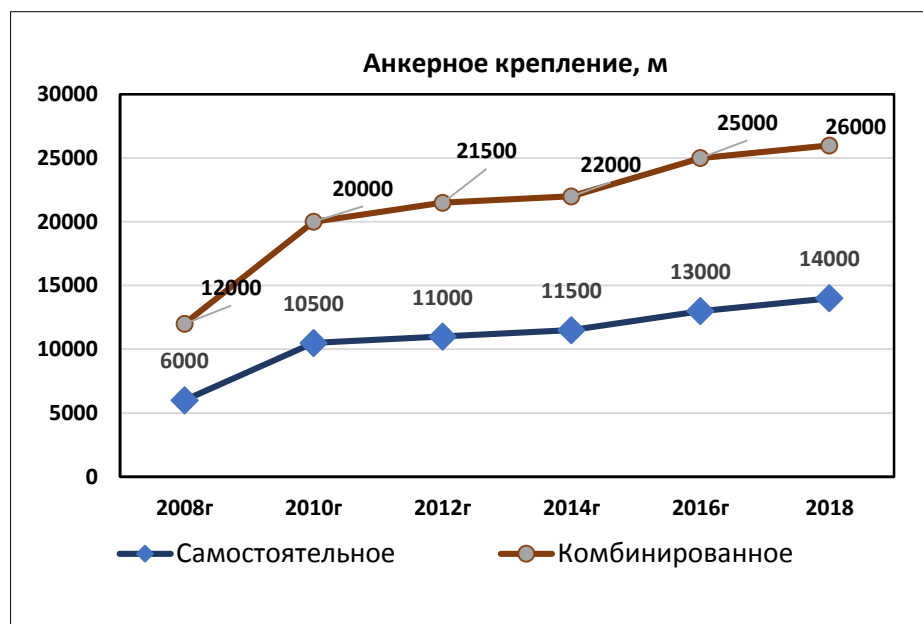


Рисунок 1.16 – Темпы крепления анкерной крепью на шахтах Карагандинского угольного бассейна

Использование прямоугольного сечения выработок с анкерной крепью обеспечивает возможность устанавливать механизированную крепь лавы непосредственно в конвейерной и вентиляционной выработках [21, с. 70].

Технология анкерного крепления выработок внедряется с использованием бурильных установок «TURBO» и химических ампул.

Паспорта крепления с использованием технологии анкерного крепления приведены на рисунках 1.17-1.18, характеристика выработки представлена в таблицах 1.19-1.20.

Анализ перспективных технических разработок по поддержанию горных выработок показывает, что в настоящее время анкерное упрочнение массива является наиболее передовым и технически оснащённым. Однако этот вид крепления не всегда отвечает повышенным требованиям обеспечения устойчивости горных пород. Несмотря на то, что анкерная крепь обладает высоким сопротивлением выдергивающему усилию, она обеспечивает надёжное поддержание кровли выработок только при крупной блочности массива и незначительной трещиноватости.

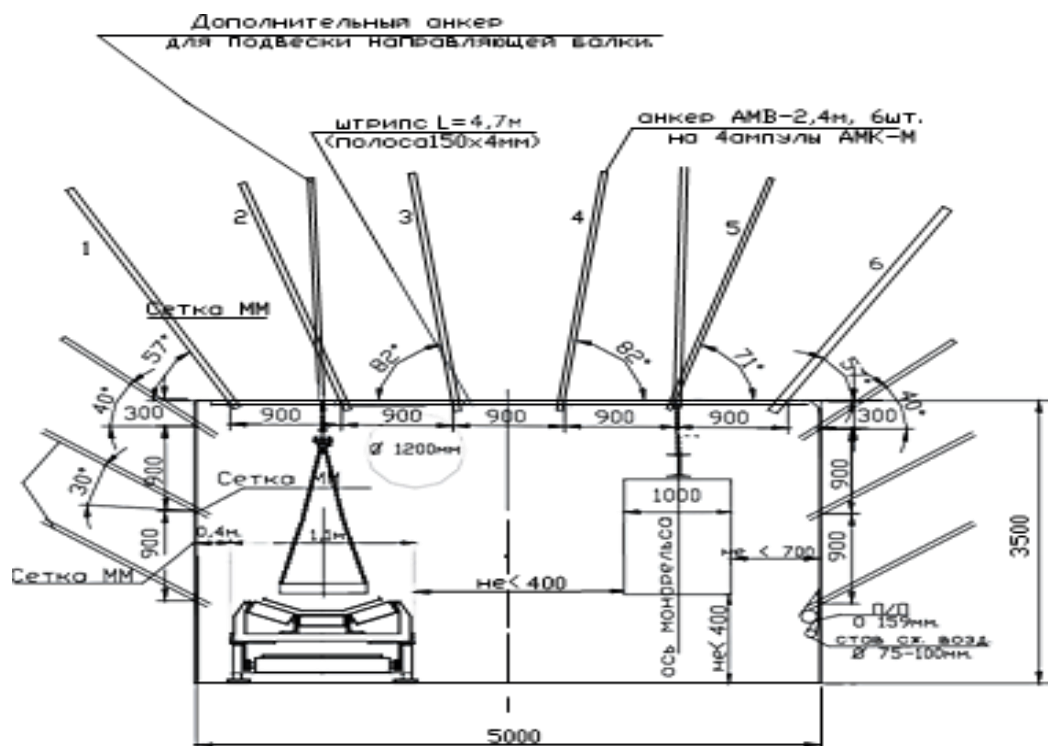


Таблица 1.19 – Характеристика выработки

Наименование выработки	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь сечения, м ²	Тип крепления	Тип Затяжки
Конвейерный бремсберг 40к7-в	120	5,15/4,75	3,65/3, 34	15,3/13,7	МАК 2р/пог.м и анкера	ММ

Таблица 1.20 – Влияние опасных факторов

Наименование выработки	Опасные факторы	Возможные влияния
Конвейерный бремсберг 40к7-в	Опасная зона от геологоразведочной скважины №2376а	Возможно разовое увеличение притока воды, местное ослабление горных пород
	Встреча мелкоамплитудных разрывных геологических нарушений	Возможно образование куполов, обрушение пород кровли и боков, усиление давления на крепь

Из анализа применения [28, с. 103] анкерной крепи установлено, что основными причинами недостаточно высоких объемов применения анкерного крепления выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна является [28, с.103]:

- усложнение горно-геологических и горнотехнических условий с переходом на большую глубину разработки, где существенно увеличились размеры зон опорного давления в окрестности очистных выработок и интенсивность проявлений горного давления в выработках внутри выемочных полей. Это и объясняется применением в большей степени комбинированной анкерной крепи;

- возросли на 35-40 % площадь поперечного сечения выработок, в особенности выемочных у лав, и объемы бесцеликовой охраны выработок на границе с выработанным пространством, в зоне сдвижения и обрушения пород соседних отработанных лав;

- недостаточная изученность геомеханических процессов в породах вокруг выработок на нижних горизонтах и работоспособности анкерной крепи в этих условиях. В наибольшей мере это относится к размерам зон опасных деформаций (смещений, расслоений и разрушений) пород кровли и боков выработок, охраняемых целиками угля и бесцеликовыми способами.

- отсутствие опыта применения анкеров с высокой прочностью закрепления в породах слабых и нарушенных средней крепости и несовершенство нормативных документов, определяющих применение анкерных крепей;

– отсутствие надежных методик обоснования и расчета параметров крепления горных выработок для промышленных условий разработки, недостаточная автоматизация автоматизации обоснования и расчета параметров анкерной крепи горных выработок различного технологического назначения, с учетом комплекса влияющих факторов горно-геологического и горнотехнического характера условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна.

1.6 Производственные наблюдения за состоянием выработок шахт Карагандинского угольного бассейна, закрепленных анкерной крепью

Одной из приоритетных задач развития шахт Карагандинского угольного бассейна является снижение затрат на добычу угля и проходку выработок за счет увеличения объемов применения анкерного крепления подземных выработок (из 70 км проводимых выработок – 51 км с анкерным креплением) при росте горно-подготовительных работ (проходки) с 60 до 70 км с увеличением темпов их проведения. При этом существуют ограничения по отставанию сроков ввода новых более глубоких горизонтов на восполнении отработанных запасов с увеличением удельного объема проходки на 1000т добычи (5,45 до 6,3) при росте количества подготовительных забоев (с 46 до 63). При проведении горных выработок и разработке угольных пластов вследствие нарушения равновесия вмещающих пород и перераспределения техногенных напряжений в шахтах возникают геомеханические процессы, вызывающие деформации, разрушения, перемещения и сдвиги различных масс горного массива.

На развитие проявлений горного давления, возникающего в результате взаимодействия углевмещающих пород с горными выработками, основное влияние оказывают горно-геологические и горнотехнические факторы.

Геомеханические условия поддержания выемочных выработок в Карагандинском угольном бассейне (см. раздел 1.5), отличаются повышенной сложностью из-за малой прочности вмещающих угольные пласты пород, особенно почв, которые уже при незначительной концентрации горного давления склонны к интенсивному пучению.

Для горных выработок Карагандинского угольного бассейна характерны повышенные деформации их контуров (более 150-300 мм) из-за низкой прочности и устойчивости боковых пород.

Целью проводимых исследований является определение влияния горно-геологических нарушений и горнотехнических условий на обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, с учетом факторов горно-геологического и горнотехнического характера шахт Карагандинского угольного бассейна, для повышения рентабельности и безопасности отработки угольных пластов.

1.6.1 Натурные наблюдения за смещениями породного массива вблизи горных выработок шахты им. Костенко УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

Натурные наблюдения за смещениями породного массива вблизи горных выработок на шахте им. Костенко были выполнены при поддержании горных выработок в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях эксплуатации, пройденных вблизи геологических нарушений, в зоне влияния повышенного и опорного горного давления (от подработки и надработки), при изменении элементов залегания угольного пласта.

Экспериментальные наблюдения включают

- установление проявлений горного давления;
- деформаций пород почвы;
- боков и кровли во вмещающих породах выработки при применении анкерной и комбинированной крепей;
- анализ, оценка устойчивости и дефектности, мониторинг горных выработок в аномальных зонах.

Произведена оценка проявлений горного давления, деформаций пород почвы, боков и кровли во вмещающих породах выработки при применении анкерной и комбинированной крепей, экспериментальные наблюдения, анализ и оценка устойчивости, дефектности и деформационных процессов и закономерностей взаимодействия крепи с горным массивом в выработках, *прогнозирование* смещений приконтурного массива пород горных выработок, *определение* механизма деформирования пород в структурно нарушенном неоднородном горном массиве с установлением параметров крепи в подготовительных, капитальных и др. выработках, с учетом *геомеханических* условий проведения поддержания выработки, *горно-геологических и горнотехнических* условий эксплуатации; схем ведения горных работ.

Проанализированы паспорта крепления, горно-геологическая и горнотехническая информация, данные по динамике проявлений горного давления анализируемых выработок в сложных условиях эксплуатации для анализа и выработки рекомендаций по улучшению их состояния.

Анализ смещений массива горных пород вблизи вентиляционного штрека 49к₇₋₃ шахты им. Костенко. Вентиляционный штрек 49к₇₋₃ (таблица 1.21) проводится по пласту К₇, общей мощностью 1,7-2,05 м, при угле падения – 3°-7°. Пласт опасен по газу и пыли, по внезапным выбросам угля и газа, не склонен к самовозгоранию. Обводненность пласта до 2-3 м³/ч, природная газоносность – 7-12 м³/т. На рисунке 1.19 приведена выкопировка с плана горных работ пласта К₇. Породы кровли пласта представлены аргиллитами мощностью 0,5-0,7 м и алевролитами мощностью 3,1 м. Непосредственная кровля средней устойчивости. Крепость аргиллитов – 2,2, алевролитов – 3,4 по шкале проф. Протодяконова. Основная кровля средней устойчивости, песчаник, мощностью до 26,2 м, крепостью 5,4-5,5 по шкале проф. Протодяконова.

Породы почвы пласта к₇ сложены алевролитами мощностью 2,5 м, крепостью 3 по шкале проф. Протодяконова.

Таблица 1.21 – Характеристики выработки

Наименование выработки	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь сечения, м ²	Тип крепления	Тип затяжки
Вентиляционный штрек 49к ₇ -3	1030	5,3/4,9	2,9/2,7	15,2/13	МАК+анк 1р/пог. м, банк/пог. м	ММ ЗМП

Анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения вентиляционного штрека 49к₇-3 показал, что среди факторов, оказывающих неблагоприятное влияние отмечены влияния зон повышенного горного давления (ПГД), геологических нарушений типа «размыв» и опасных зон от геологоразведочных скважин.

В геомеханическом отношении условия проведения вентиляционного штрека 49к₇-3 осложнены нижеперечисленными факторами – таблица 1.22.

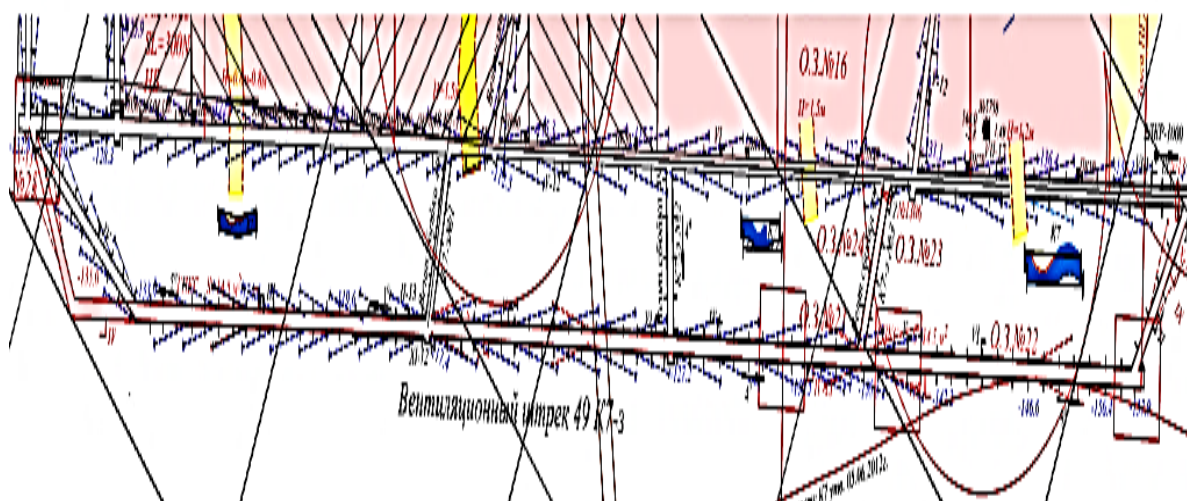


Рисунок 1.19 – Выкопировка с плана горных работ пласта к₇ шахты им. Костенко (район вентиляционного штрека 49к₇-3)

По результатам выполненных натурных наблюдений были построены графики развития смещений (рисунок 1.20).

Смещения пород кровли составили 0,42 м. Со стороны боков значения смещений составляло 0,21 м, а пучение почвы достигало местами 0,65 м.

Значительные значения пучения почвы объясняются наличием в непосредственной почве слабых пород.

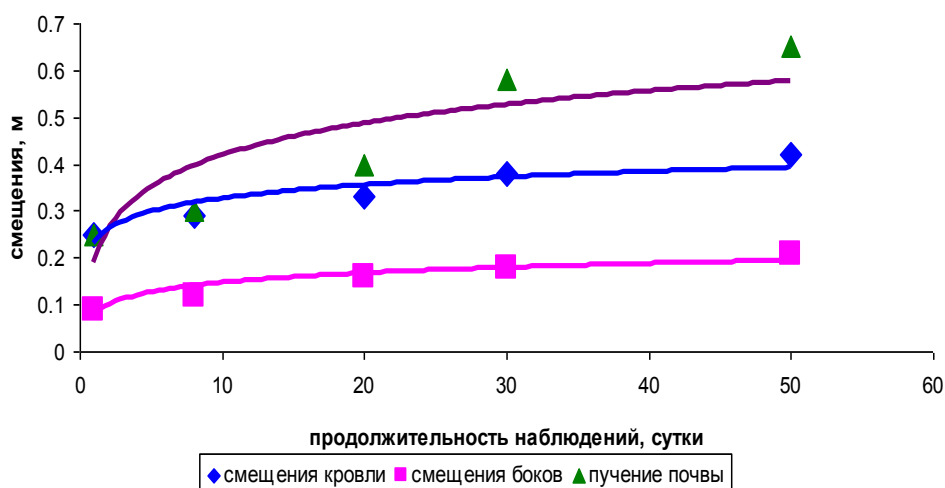


Рисунок 1.20 – Динамика развития смещений массива горных пород вблизи вентиляционного штрека 49к7-3

Таблица 1.22 – Опасные факторы при проведении вентиляционного штрека 49к7-3 (западное и восточное направление)

Наименование выработки	Опасные факторы	Привязка	Возможные влияния
Вентиляционный штрек 49к7-3 (западное направление)	Опасная зона от геологического нарушения, возможность размыва, Н=0,6 м	ПК17-18	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой
	Опасная зона от геологического нарушения, возможность размыва, Н=1,5 м	–	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой
Вентиляционный штрек 49к7-3 (восточное направление)	Опасная зона от геологического нарушения, возможность размыва, Н=1,5 м	ПК 2-4	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой
	Зона ПГД от пласта К ₁₀	ПК 41-72	Усиление давления на крепь, возможны обрывы кровли
	Геологоразведочная скважина № 5758	–	Возможно разовое увеличение притока воды, местное ослабление горных пород
	Опасная зона от геологического нарушения, возможность размыва, Н=0,5 м	ПК 53-54	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой.
	Геологоразведочная скважина № 20959а	ПК53-65	Возможно разовое увеличение притока воды, местное ослабление горных пород

Анализ смещений массива горных пород вблизи конвейерного бремсберга 44бк₁₀-3 шахты им. Костенко. Конвейерный бремсберг 44бк₁₀-3 проводится по пласту К₁₀ – таблица 1.23, рисунок 1.21.

Таблица 1.23 – Характеристики выработки

Наименование выработки	Длина	Ширина	Высота	Площадь сечения	Тип крепления	Тип затяжки
Конвейерный бремсберг 44б к ₁₀₋₃	470	5,4/5,81	3,51/3,7	17,4/14,5	анкерная 2р/пог.м	ММ ЗМП

Угол падения пласта 5°-7°. Пласт состоит из семи угольных пачек, разделенных прослойкой аргиллита мощностью 0,05-0,3 м.

Породы кровли пласта k_{10} представлены переслаиванием аргиллита /алевролита и песчаником мощностью 28 м. непосредственная кровля пласта представлена аргиллитом мощностью 3 м. Крепость: аргиллит 2,2-2,5; алевролит 3,6-3,9; песчаник 5,9-6,8 по шкале проф. Протодяконова. Породы почвы пласта – аргиллит, мощностью до 2,5 м. Основная почва – алевролит. Почва склонна к пучению. Пласт опасен по газу и пыли, относится к угрожаемому по внезапным выбросам угля и газа, склонен к самовозгоранию.

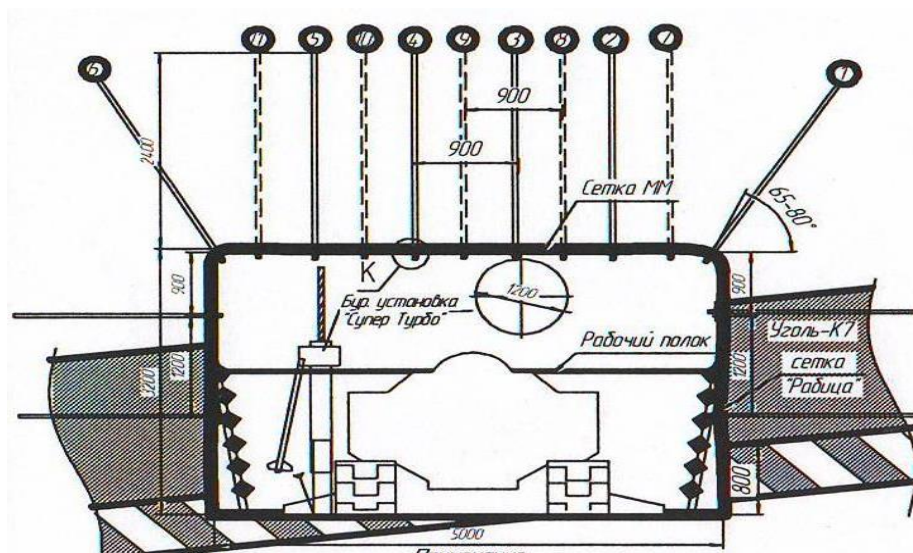


Рисунок 1.21 –Конвейерный бремсберг 44бк₁₀₋₃

При ведении горных работ, были пересечены ряд опасных зон – таблица 1.24. Динамика изменения высоты выработки показана на рисунке 1.22, а деформаций слоев кровли – на рисунке 1.23.

Нарушения технологии при проведения и крепления конвейерного бремсберга 40к7-в: большое количество не сорванных штифов на анкерной гайки; при закрепления штрипсы, сетка лежащая после штрипсы загнана под штрипсу.

А сетка, лежащая перед штрипсой, не загнана под штрипсу и край сетки находится в свободном положении.

Таблица 1.24 – Опасные факторы, зоны

Наименование выработки	Опасные факторы	Привязка	Возможные влияния
Конвейерный бремсберг 446К ₁₀₋₃	Опасная зона от геологического нарушения, Н=1 м, Н=3 м	ПК14-18 ПК28-33	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой, повышение газовыделения
	Зона ПГД от пласта К ₁₂	ПК29-45	Усиление давления на крепь, возможны обрывы кровли
	Опасная зона у геологоразведочной скважины №2376	ПК39-45	Возможно разовое увеличение притока воды, местное ослабление пород кровли

В связи с этим теряется несущая способность сетки и действию штрипсы; основной проблемой является пучение почвы.

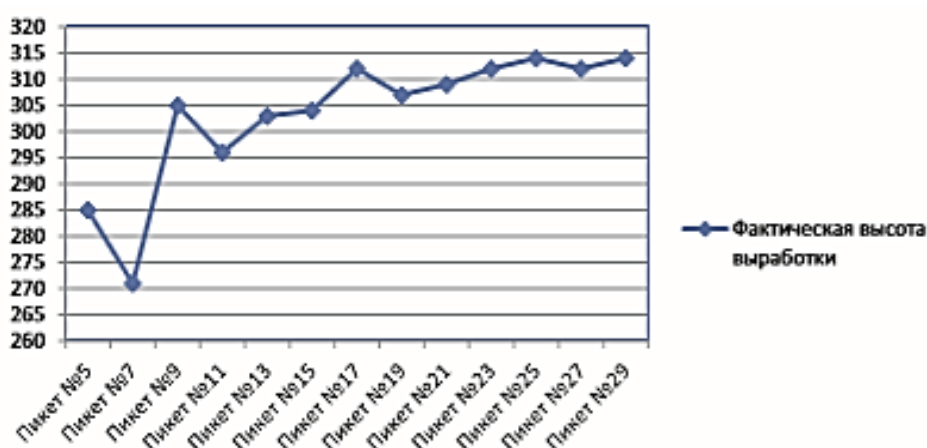


Рисунок 1.22 – Изменение высоты выработки

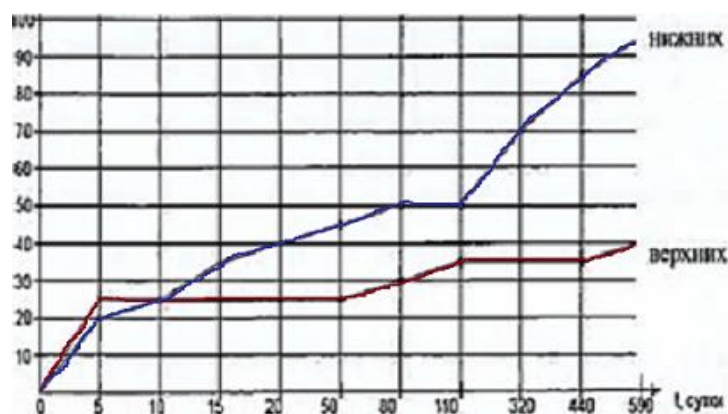


Рисунок 1.23 – Динамика деформаций слоев кровли конвейерного бремсберга 446К₁₀₋₃ шахты им. Костенко Карагандинского угольного бассейна

Выводы по результатам натурных наблюдений:

– интенсивная фаза деформаций пород приконтурного массива приходится на первые сутки с момента образования обнажения, в дальнейшем

происходит постепенное снижение интенсивности смещений;

- в зонах влияния повышенного горного давления наблюдалось увеличение интенсивности смещения на 10-15 %;

- суммарные смещения кровли при применении анкерной крепи не превышают 30мм;

- суммарные горизонтальные смещения пород боков выработок не превышают 100 мм, что является допустимым при применении анкерной крепи;

- сравнение результатов натурных наблюдений показало, что величина смещений пород кровли зависят от мощности слабых пород, залегающих в непосредственной и основной кровле;

- для определения влияния горно-геологических нарушений и горнотехнических условий на параметры анкерного крепления необходимо уточнить значения поправочных коэффициентов по результатам производственного опыта и научно-исследовательских работ, усовершенствовать математический аппарата, разработать методику обоснования параметров анкерного крепления (одно-, комбинированной, двухуровневой) горных выработок различного назначения, с учетом факторов горно-геологического и горнотехнического характера шахт Карагандинского угольного бассейна.

1.7 Анализ научно-технических достижений применения анкерной технологии крепления горных выработок

Одним из условий эффективной и безопасной работы подземных горных выработок является то, что они должны в течение заданного срока службы сохранять устойчивое состояние, при котором форма и размеры сооружения не выходят за допустимые пределы, обусловленные правилами эксплуатации и техники безопасности. Многочисленные методы обеспечения устойчивости подземных горных выработок можно объединить в три основные группы: охрана, крепление и поддержание [42-43].

Исходя из требований, которым должна удовлетворять горная крепь:

- функциональным: достаточные прочность, долговечность, надежность;
- технологическим: возможность механизаций изготовления элементов и их доставки, возведения крепи с учетом общей технологии проведения выработки;
- экологическим: безопасность для людей и окружающей среды;

- экономическим: минимальные суммарные расходы при строительстве и эксплуатации выработки в течение срока ее службы,

оптимальным вариантом крепи, должно принять вариант, при котором обеспечиваются:

- функциональные и технические требования к крепи;
- минимальные трудоемкость и затраты;
- максимальная производительность;
- хорошие условия труда.

На угольных шахтах крепление занимает от 25 до 50 % времени и затрат труда от общего времени проходки. Подготовительные и капитальные горные выработки крепятся преимущественно металлическими арками из спецпрофиля (86%), которые характеризуется относительно большой массой элементов и необходимой податливостью. К недостаткам которых можно отнести следующие факторы [41, с. 19]:

- из-за большого числа элементов и расхода металла такой крепи невозможно создать эффективные средства механизации для ее возведения;
- высокий коэффициент аэродинамического сопротивления увеличивает расход электроэнергии, ухудшает качество проветривания по сечению выработок;
- в условиях значительного напряженного состояния горного массива не обеспечивают необходимой устойчивости и безремонтного поддержания выработок;
- после возведения металлических арок, вследствие отсутствия контакта с вмещающими породами они не воспринимают горного давления и способствуют распространению трещинообразования во вмещающем породном массиве, что приводит к смещению контуров выработки и дополнительной пригрузке от окружающих пород;
- их возведение является плохо поддающимся механизации трудоемким процессом;
- материалоемкость крепей снижает технико-экономические показатели проходки и в значительной степени сдерживает темпы проведения выработок

Задача состоит в постепенной замене металлической арочной крепи на другие, более прогрессивные и экономичные, поддающиеся механизации и со значительно меньшей трудоемкостью, материалоемкостью и стоимостью.

В решении проблем разработки месторождений с обеспечением эффективного ведения подготовительных работ большой вклад внесли такие ведущие научные и проектные организации, как ИПКОН НАН РК, ИПКОН РАН, ИГД НАН РК им. Д. Кунаева, КазНТУ им. К. Сатпаева, Жезказган- НИПИцветмет, КарГТУ, МГТУ, УралГипромедь, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, ВНИИцветмет и др. А также зарубежные фирмы, такие как «Рок Микэник Технолоджи л.т.д.» (RMT) в Великобритании, Горное бюро в США, в Германии – компания ДМТ [44-47].

Решить проблему можно было путем разработки и внедрения упрочняющей крепи и крепи с предварительным распором, с помощью которых может быть создана система «крепь – вмещающие породы» уже в начальный период сооружения выработки, что очень важно для последующего обеспечения ее эксплуатационного состояния с наименьшими затратами на поддержание.

Одной из прогрессивных и рациональных видов крепи является анкерная, которая относится к крепям безподпорного типа и по сравнению с подпорными конструкциями имеет следующие преимущества [рисунки 1.6-1.7]:

- повышает безопасность ведения горных работ, так как лучше любой другой крепи противостоит взрывным работам при аварийных ситуациях (газодинамических явлениях, взрывах газа и угольной пыли) и может

устанавливаться в забое как временная;

- обладает потенциальными возможностями для полной механизации процесса крепления;
- требует меньшего расхода крепежных материалов и затрат на их доставку;
- позволяет уменьшить сечение горной выработки на 18-25 % и ее аэродинамическое сопротивление.

Применение анкерной технологии крепи позволяет значительно увеличить скорость и снизить затраты на проведение выработок, сократить расход и уменьшить стоимость крепежных материалов, расходы на ремонт и поддержание горных выработок, улучшить состояние выработок и повысить безопасность работ [41, с.10].

Вопросам эффективности крепления горных выработок анкерной крепью, а также физическим процессам взаимодействия закрепляемых горных пород посвящены труды таких отечественных и зарубежных известных ученых, как: М.И. Аюшнов, Ш.А. Алтаев, О.А. Байконуров, А.А. Борисов, Л. А., В.И. Борщ-Комнилец, Н.С. Булычев, М.Н. Гелескул, Ж.С. Джапаридзе, Ержанов, Л.Н. Насонов, Ю.З. Заславский, А.Г. Протосеня, В.Д. Слесарев, А.П. Широков, В.А. Лидер, Ю.А. Векслер, А.А. Зейнуллин, А.И. Имангалиев, Х. Кошумов, Ю.А. Чабдарова и многих других [48-50]

Ими внесен значительный вклад в установление закономерностей работы крепей, поведения боковых пород, разработку методик расчета параметров установки анкеров, их применения как самостоятельно, так и в сочетании с другими видами крепей.

В настоящее время, в горной промышленности применение нашли анкеры следующих видов:

- механические анкеры;
- анкеры с цементным закреплением по всей длине;
- анкеры с полимерным закреплением.

Механические анкеры, особенно замковые, на угольных шахтах не применяются, т.к. с течением времени их крепление ослабевает из-за провисания кровли.

Применение анкеров с *полимерным закреплением* в горной промышленности ограничивается высокой стоимости смолы. Целесообразность их применения обуславливается благодаря короткому времени схватывания и почти моментальной способности обеспечивать поддержание пород свежееобнаженной кровли, особенно поддержание слабых и обводненных пород.

Анкеры с *цементным закреплением* по всей длине сравнительно дешевы и с технической точки зрения также пригодны для условий угольных шахт.

Совершенствование анкерного крепления происходит, как и части создания конструкций анкеров с повышением надежности их фиксации в шпурах и скважинах, так и специального оборудования для бурения скважин, и установки анкеров.

Ежегодно на шахтах во всем мире устанавливаются примерно один миллион анкеров, из которых 88% приходится на США [51-53]. Около 70% анкеров в

США используются совместно с быстротвердеющими синтетическими заполнителями. Остальные 30% – это чисто механические анкеры, хотя и они нередко применяются с цементным заполнителем или «точечными» синтетическими заполнителями. Длина анкеров обычно составляет 1,2-2,4 м при диаметрах от 16 до 22 мм.

В Англии на всех 17 шахтах, оставшихся в эксплуатации, применяют анкерование кровли как основное средство крепления при подготовке лав одиночными штреками с оставлением целиков угля между отрабатываемыми столбами; 90% выемочных штреков в панелях, отрабатываемых обратным ходом, крепятся анкерами. При глубинах разработки пластов 700-1200 м на британских шахтах плотность размещения анкеров более высокая, чем в других западных странах. Обычно на каждый метр проводимого штрека устанавливается от 7 до 12 анкеров длиной 2,4 м. Кроме того, устанавливаются по 1-2 анкера длиной 1,8 м в боковых стенках штреков. Применение анкерования штреков позволило существенно улучшить условия безопасности ведения работ. Травматизм при проходке выработок сократился с 3,4 до 0,9 случаев на 100 тыс. чел-смен. Одновременно наполовину снизились расходы материалов, необходимых на проведение каждого метра выработки.

На шахтах Южной Африки, где преимущественное применение получила камерно-столбовая система разработки и только 10 % добычи приходится на выемку угля лавами, наиболее распространены самоходные анкерующие машины. При этом, несмотря на обычно хорошее состояние кровли, в основном представленной песчаниками, большое внимание уделяется мониторингу состояния поддержания кровли анкерами и предотвращению местных обрушений в зонах нарушенной кровли.

В Китае анкерование кровли применяется лишь на крупных шахтах.

В Польше анкерование кровли систематически не производилось, что объясняется более сложными геологическими условиями и стремлением наиболее полного извлечения подготовленных запасов угля с повторным использованием штреков при отработке смежных лав.

Объем внедрения анкерного крепления выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна составляет в чистом виде – 12%, смешанном – 42 %, металлоарочной крепи – 46%. Видим, что в последние годы идет переход на чистое анкерное крепление, но до настоящего времени преобладает комбинированное анкерное крепление (таблица 1.15).

Широкое применение анкеров значительно снижает стоимость крепления по сравнению с металлической рамной крепью, способствует увеличению темпов проходки выработок, создает необходимые условия для достижения максимально возможных нагрузок на очистные забои [54]. И в то же время на шахтах Кузнецкого угольного бассейна объемы применения наиболее прогрессивной анкерной крепи в подземных горных выработках не превышают 20-25% от протяженности проводимых выемочных выработок из-за сложных горно-геологических и горно-технических условий отработки запасов на шахтах региона, которые обусловлены тем, что около 90% подземных горных выработок

используются для повторного использования и около 70% выемочных участков шахт имеют труднообрушающуюся основную и слоистую или трещиноватую непосредственную кровлю [54, с.78].

При этом в подземных горных выработках наблюдаются вывалы и обрушения кровли, и разрушение отдельных элементов анкерной крепи и крепи усиления [54, с.78], основными причинами неудовлетворительного состояния которых являются:

- значительная неравномерность нагружения отдельных анкеров, а также недостаточное начальное натяжение и несущая способность;
- значительная неравномерность нагружения отдельных анкеров при использовании существующих конструкций анкерной сталеполимерной крепи (типа АСП, А16В, А20В и др.), приводящих к разрушению стержней анкеров и опорных пластин толщиной 5 мм;
- низкая прочность металлических подхватов и решетчатой затяжки толщиной 2-4 мм, обуславливающие их прорыв или разрыв; невысокая несущая способность и вдавливание в почву существующих крепей усиления, сопровождающееся их поломкой или потерей устойчивости;
- излишняя податливость и невысокая несущая способность в условиях обводненных выработок глубоких шахт существующих охранных конструкций [54, с.78].

С учетом отмеченных недостатков на практике апробированы новые средства и параметры анкерного крепления, крепи усиления и бесцеликовой охраны выемочных штреков в сложных горно-геологических условиях:

- они включают высокопрочные сталеполимерные анкеры типа АСП1, АСП1 и АСП2, длиной от 2 до 4,2 м, с несущей способностью 190-350 кН и податливой опорной пластиной, срабатывающей при усилии 130-270 кН [55]. Данные анкеры обеспечивают равномерное нагружение опорной пластины при углах отклонения анкеров от нормали к кровле до 20° и создание при установке анкеров их начального натяжения величиной 45-55 кН, что предотвращает расслоение заанкерванной кровли;
- для усиления анкерного крепления выработок с малой высотой разработаны канатные анкеры типа АК1 и АКШ1 с несущей способностью 175-260 кН. Анкеры используются в сочетании с прочными полосовыми подхватами толщиной 6-8 мм и шириной 120-150 мм, и при необходимости со специально разработанной решетчатой затяжкой ЗРО и подхват-затяжкой ПЗ с толщиной основных прутков 8 мм, имеющей высокую прочность [55, с.79].

Одной из передовых компаний Казахстана по поставке горно-шахтных крепей, отвечающих качественному уровню безопасности и прибыльности, является компания «Safe technologies in industry (STI) (Приложение Г).

1.8 Обоснование целесообразности применения анкерного крепления

Применение сталеполимерных анкеров для крепления выработок на угольных шахтах и рудниках способствует повышению эффективности производства и снижению его издержек. Рентабельность и безопасность отработки угольных пластов в значительной степени могут быть повышены за счет совершенствования технологии крепления горных выработок. Анкерная крепь увеличивает объемы применения ресурсосберегающих способов крепления, позволяет при использовании высокопроизводительного бурового оборудования ускорить процесс проходки выработок, снизить стоимость их проведения и расширить область применения анкерной крепи.

Анкерная крепь, состоящая из анкеров, устанавливаемых и закрепляемых в пробуренных в кровлю и бока выработок скважинах, опорных элементов для анкеров и межанкерной затяжки пород на контуре, в отличие от металлических рамных и других поддерживающих крепей, сразу же после установки осуществляет связывание и упрочнение массива в кровле и боках выработки и активно противодействует развитию смещений и разрушения пород. Это преимущество позволяет при значительно меньшем расходе металла обеспечить повышение устойчивости и надежности поддержания выработок. Другим преимуществом анкерной крепи является возможность полной механизации крепления, в результате чего значительно снижается трудоемкость проходческих работ и возрастает скорость проведения выработок.

Прошедшее время развития и внедрения анкерного крепления можно разделить на этапы [54, с. 20]:

- первый этап – этап развития анкеров клинового типа, т.е. распорных или фрикционных анкеров;

- второй этап – этап развития сталеполимерных анкеров (металлический гладкий или рифленый стержень, закрепляемый в шпуре при помощи химических смол);

- третий этап – этап интенсивного развития и внедрения гибких канатных гибких анкеров или, как их именуют в настоящее время, анкера глубокого заложения или анкера второго уровня с глубиной их установки – 3-7 м.

Технологически они могут служить для крепления оконтуривающих выемочных столбов горных выработок в зонах повышенного горного давления, в зонах опережающего горного давления впереди очистного забоя, что значительно повышает безопасность труда на концевых участках очистного забоя, для крепления различных камер, для подвески балки монорельсовых дизельных дорог и т.д.;

- четвертый этап – этап замены металлических стержней, подхватов и металлической сетки для перетяжки кровли, боков горных выработок на стеклопластиковые или изготовленные из других искусственных материалов.

Основными тенденциями совершенствования анкерной крепи являются: увеличение несущей способности анкера, применение многоуровневого

крепления, уменьшение продолжительности операций по установке анкеров и сокращение стоимости анкерной крепи.

Важное преимущество прямоугольного сечения подготовительных выработок состоит в возможности устанавливать секции щитовой крепи лавы непосредственно в конвейерном и вентиляционном штреках. Это позволяет отказаться от сложных схем передвижения секций механизированной крепи на концевых участках лавы и выполнять эти операции без простоев; повышение эффективности крепления подготовительных выработок участков, обрабатываемых в обратном порядке.

Несмотря на то, что установка анкерной крепи требует меньше времени, чем установка арочной крепи, сама по себе эта операция является самой продолжительной в проходческом цикле коэффициент использования короткозабойного комбайна составляет 20-30 % суточного времени [54, с.40]. Для увеличения данного показателя, требуется системный подход, при котором выемка угля, крепление кровли, транспортировка угля, вентиляция, вспомогательные операции, обеспечение бесперебойных поставок материалов оптимизируются в соответствии с производительностью основного оборудования.

Применение анкерной крепи на шахтах стран с развитой угледобывающей промышленностью позволило в 3-5 раз уменьшить расход металлопроката, бетона, леса; в 2-3 раз повысить производительность работ при креплении выработок; в 1,5-2,0 раза повысить темпы проходки; вдвое сократить затраты на крепление и поддержание крепи в рабочем состоянии во время эксплуатации. Химическое анкерование позволяет пересмотреть технологию очистных работ и перейти от цикличной выемки угля в длинных комбайновых забоях к практически непрерывной, поточной добыче и тем самым снизить трудоемкость очистных работ на 25-35%.

Выводы:

Применение анкерной крепи на шахтах позволяет обеспечить ряд преимуществ по сравнению с обычными системами крепления:

- сокращение продолжительности цикла установки крепи (время подготовки очистных забоев снижается на 75 %);
- сокращение продолжительности операций на концевых участках лавы и, соответственно, времени простоев очистного забоя;
- сокращение стоимости материалов и в значительной степени трудоемкости работ по креплению (затраты по подготовке очистных забоев уменьшается на 70 %); повышение безопасности работ;
- облегчения работ по транспортировке; улучшение условий эксплуатации выработки (размер и форма);
- уменьшение сечения проводимой выработки и вспучивания почвы, присечки пород;
- уменьшение засоренности угля породой;
- повышение производительности труда в 3-5 раз при высокой несущей способности крепи; возможность быстрого изменения шага установки анкеров и

в связи с этим увеличение плотности анкерного крепления при соответствующих горно – геологических условиях; простота поддержания посредством наличия дополнительных прогонов;

– значительные преимущества при поддержании сопряжения лавы с выработкой.

1.9 Анализ результатов шахтных натуральных наблюдений и накопленного опыта применения анкерной крепи

Анкерные крепи горных выработок относятся к виду крепей, которые обеспечивают управление горным давлением с использованием несущей способности окружающего массива.

Эффективность технологических схем работ по извлечению полезного ископаемого при подземном способе разработки (очистных работ) месторождений полезных ископаемых оценивается по трем группам критериев: экономическая, техническая и по степени её адаптации.

К экономическим критериям относятся стоимость себестоимость единицы продукции, прибыль.

К техническим критериям – надежность, безопасность системы, максимальное приближение параметров системы к расчетным. Критерий адаптации определяет «приспособленность» системы к условиям окружающей среды и характеризует синтезирующее, развивающее и прогнозирующее поведение системы.

Цель моделирования и возможность эффективного применения анкерной крепи горных выработок состоит в разработке схемы крепи, максимально приспособленных к изменяющимся и вероятностным условиям их функционирования и зависит, как и для других видов крепей, от большого числа взаимосвязанных между собой параметров.

Горно-геологическими параметрами, влияющими на эффективность применения анкерной крепи, являются:

- величина и интенсивность горного давления;
- мощность и угол залегания пласта;
- свойства боковых пород;
- наличие генетических и тектонических нарушений и аномалий;
- наличие подработки или надработки.

Важными *горно-техническими* параметрами для анкерной крепи являются:

- расположение подготовительных выработок относительно фронта очистных работ и порядок их использования;
- наличие целиков;
- форма и площадь поперечного сечения выработок.

Применение анкерной крепи производится по согласованным техническим проектам, в которых с учетом специфики и сложности условий должны предусматриваться дополнительные меры безопасности и постоянные

наблюдения за проявлениями горного давления и состоянием крепи для принятия, в случае необходимости, оперативных решений по её усилению.

При разработке паспортов крепления выработок учитываются следующие факторы:

- *горно-геологические факторы*: угол падения пород, геологические, тектонические и гидрогеологические условия, которые характеризуются залеганием угольного пласта и свойства вмещающих пород, а также гранулометрический и вещественный составы слагающих зерен и цементирующих их веществ, показателями сопротивления их сжатию, растяжению или сдвигу, нарушенностью и водообильностью, устойчивостью отдельных слоев пород; характеристика тектонических нарушений и место их расположения, мощность и сопротивление пород в боках и кровле;

- *горно-технические факторы*:

- сопротивление пород в почве и кровле, удельный вес, время поддержания выработки после под- или надрботки, расположение слоев пород, наличие искусственного ограждения, степень трещиноватости, период разработки, тип и параметры анкера и других сочетающихся видов крепления;

- вынимаемая мощность пласта, класс кровли при обрушаемости, класс слоя пород, мощность слоя пород, тип выработки, ширина выработки, высота выработки, поперечное сечение выработки в свету, вид и глубина расположения выработки, назначение выработки, воздействие других выработок, ширина взаимовлияющей выработки, расстояние между параллельными выработками, время поддержания выработки, наличие присечной выработки, наличие под- или надрботки, зон опорного и повышенного горного давления.

Также на процесс поддержания выработок оказывают влияние геомеханические, технологические факторы, а также факторы промежуточного характера, возникающие в результате влияния горных работ на геомеханическое состояние массива горных пород:

- к геомеханическим факторам можно отнести природные параметры массива: прочность, объёмный вес, трещиноватость, глубину залегания, угол падения и др.;

- к технологическим факторам – форму и сечение выработки, податливость и несущую способность крепи.

- в группе факторов промежуточного характера наиболее важными следует считать опорное давление вокруг очистного забоя и искусственно вызванную при проведении выработок, трещиноватость вмещающих пород и угольных пластов.

Ни один из перечисленных геомеханических факторов, взятый в отдельности, не может определить состояние горного массива для его оценки условий поддержания горных выработок.

Анализ результатов шахтных производственных наблюдений и накопленного опыта показывает [28, с. 103]:

1) Определяющими условиями эффективности применения анкерной крепи в подготовительных горных выработках и ее вариаций, являются:

- размеры области опасных деформаций пород вокруг выработок;
- прочность закрепления анкеров во вмещающих породах;
- величина смещения пород кровли, боков выработки за срок её службы и предельная величина безопасного опускания закрепленных анкерами пород кровли в выработке за срок службы выработки [28, с. 105].

2) Анкерную крепь эффективно использовать в следующих горно-геологических условиях:

- при слоистых породах с ослабленными связями между слоями (в этом случае анкеры скрепляют несколько слоев в прочную плиту, в которой процесс трещинообразования протекает значительно слабее, чем при отдельных несвязных слоях);

- при наличии в непосредственной кровле выработок слабых пород мощностью до 1,5-2,0 м, над которыми залегает мощный слой крепких пород (в этом случае непосредственная слабая кровля прикрепляется, т. е. подшивается к крепким породам основной кровли);

- при расположении выработки в мощном слаботрещиноватом массиве однородной породы. В этом случае анкерная крепь усиливает сцепление пород, повышает их прочность и устойчивость и не дает развиваться своду обрушения;

- при наличии слабых, трещиноватых пород анкеры устанавливают с подхватами и затяжкой. Подхваты изготавливаются из металлической полосы, швеллеров, спецпрофиля или свариваются из круглых стержней. При небольшом сроке службы выработок, применяют также деревянные подхваты из брусьев, пластин и распилов.

4) Областью и условиями применения анкерной крепи являются:

- капитальные выработки околоствольного двора;
- квершлагги; полевые и пластовые магистральные бремсберги;
- уклоны и штреки;
- пластовые выемочные выработки шириной в проходке до 6,5 м;
- различные сопряжения этих выработок;
- монтажные камеры с расчетной шириной в проходке до 9 м;
- выработки, проводимые в зоне и вне влияния очистных работ;
- ненадработанном и неподработанном;
- полностью надработанном и подработанном массиве на расстояниях равных ширине выработки и 12-ти мощностей пласта.

Для крепления выработок, поддерживаемых позади лавы (прямоточная схема проветривания), необходимо использовать комбинированную (анкер + металлоарочная крепь) крепь, причем анкерам, прилегающим к выработанному пространству, желательно иметь длину 4-5 м, а при погашении выработок за лавой (возвратноточная схема проветривания) – самостоятельную анкерную крепь. Все монтажные камеры крепить самостоятельной анкерной крепью.

5) Анкерное крепление не в состоянии удерживать кровлю в условиях низкого горизонтального напряжения и поэтому не годится для использования в подготовительных выработках, служащих для повторного использования.

Анализ и обобщение состояния обследования выработок шахт Карагандинского бассейна показали [28, с.106]:

- прочность горных пород в Карагандинском угольном бассейне с увеличением их глубины залегания возрастает. При глубине 1000-1200 м в бассейне объемный вес пород меняется от 2,2 до 2,8 г/см³. Для определения веса пород кровли и боков выработки объемный вес в среднем может быть принят 2,6 г/см³. С увеличением глубины выработки растет и вертикальная составляющая горного давления, но при этом изменяется и прочность вмещающих горных пород, т.е. на одной и той же глубине прочность пород, даже для однотипных пород, может изменяться в существенных пределах. Это все приводит к тому то, что горная выработка, расположенная на большей глубине, может быть в лучших условиях по сравнению с выработкой, расположенной на меньшей глубине, но, когда эта выработка пройдена в слабых породах или по пласту угля.

- ежегодное увеличение объемов проведения выработок с анкерной крепью указывает на неопровержимые ее преимущества, относительно металлоарочной. Переход на крепление с использованием полимерных ампул с разным временем схватывания, произведенных на основе полиэфирной смолы; металлических анкером, изготовленных из более высокопрочной витой стали, а также наличие специальных калибровочных срезных штифтов на анкерах, досылочных трубок, устройств для удержания ампул, значительно расширило область применения анкерного крепления.

- на шахтах Карагандинского угольного бассейна 91-95 % всех случаев опасных деформаций пород и потери устойчивости выработок, как с анкерной, так и с другими видами крепления, случаются в зонах влияния очистных работ.

- в горных выработках, где самостоятельное анкерное крепление не обеспечивает их устойчивого состояния на время всего срока эксплуатации, в преобладающем большинстве предпочтительней применять анкерное крепление вместе с обычными видами металлической рамной крепи.

Вывод: Для расширения области применения анкерного крепления подготовительных горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна, необходимы адатировать существующие методики расчета параметров анкерной технологии крепления горных выработок к условиям эксплуатации шахт бассейна.

Выводы по первому разделу

Из анализа конструкций анкерных крепей и условий их применения на шахтах Карагандинского угольного бассейн установлено, что основными причинами недостаточно высоких объемов применения анкерного крепления выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна являются:

- усложнение горно-геологических и горнотехнических условий с переходом на большую глубину разработки;

- возросли на 35-40% площадь поперечного сечения выработок, в особенности выемочных у лав, и объемы бесцеликовой охраны выработок на

границе с выработанным пространством;

- отсутствие опыта применения анкеров с высокой прочностью закрепления в породах слабых и нарушенных средней крепости и несовершенство нормативных документов, определяющих применение анкерных крепей;

- отсутствие надежных приемов расчета анкерного крепления горных выработок, с учетом комплекса влияющих факторов горно-геологического и горнотехнического характера условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

- отсутствие методики автоматизированного расчета параметров анкерного крепления подготовительных горных выработок, адаптированной к условиям эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна.

Решение проблемы по увеличению применения анкерной технологии крепления на шахтах Карагандинского угольного бассейна заключается в разработке структурной схемы обоснования и расчета параметров анкерного крепления горных выработок, адаптивной к влияющим факторам горно-геологического и горнотехнического характера условий эксплуатации шахт бассейна.

В связи с вышеизложенным, *целью исследования* является обоснование параметров технологии анкерного крепления горных выработок с учетом влияющих факторов условий эксплуатации, обеспечивающих повышение рентабельности и безопасности отработки угольных пластов.

Для достижения поставленной цели в работе *решаются следующие задачи*:

- анализ результатов и оценка устойчивости и дефектности горных выработок, полученных в процессе наблюдения за смещениями горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна, определение факторов, влияющих на эффективность применения анкерного крепления;

- разработка порядка расчета параметров одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления подготовительных горных выработок различного технологического назначения, проводимых в изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условиях эксплуатации;

- обоснование параметров одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления при разработке паспортов крепления горных выработок для конкретных условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

- выявление закономерностей изменения параметров одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления горных выработок от влияющих факторов условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

- разработка методика автоматизированного расчета параметров анкерного крепления подготовительных горных выработок различного технологического назначения, с учетом влияющих факторов условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна.

2 Расчет параметров анкерного крепления горных выработок для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна

Оперативная оценка условий применения анкерных крепей является одним из важных методов исследования анкерной технологии крепления применения и расчета параметров анкерной крепи.

Проведенный анализ результатов натурных наблюдений за состоянием выработок, анализ опыта анкерного крепления горных выработок за последние 10 лет на шахтах Карагандинского угольного бассейна, закрепленных анкерной крепью, выявил ряд представленных ниже причин, показывающих, что назрела необходимость в корректировке существующей методики анкерного крепления, адаптивной для горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна различного технологического назначения, проводимых и поддерживаемых в заданных условиях, с учетом комплекса влияющих факторов горно-геологического и горнотехнического характера бассейна.

Проблемы применения анкерного крепления подземных горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна:

- с переходом на большую глубину разработки на шахтах Карагандинского угольного бассейна усложнились горно-геологические и горнотехнические условия, существенно увеличились размеры зон опорного давления в окрестностях очистных выработок и увеличилась интенсивность проявлений горного давления в выработках внутри выемочных полей;

- возросла на 35 – 40% площадь поперечного сечения выработок, в особенности выемочных, у лав, и объемы бесцеликовой охраны выработок на границе с выработанным пространством, в зоне сдвижения и обрушения пород соседних отработанных лав;

- наблюдается недостаточная изученность геомеханических процессов в породах вокруг выработок на нижних горизонтах и работоспособности анкерной крепи в этих условиях. В наибольшей мере это относится к размерам зон опасных деформаций (смещений, расслоений и разрушений) пород кровли и боков выработок, охраняемых целиками угля и бесцеликовыми способами;

- отсутствует опыт применения анкеров с высокой прочностью закрепления в породах слабых и нарушенных средней крепости;

- несовершенны нормативные документы, определяющие применение анкерных крепей для конкретных эксплуатационных условий шахт Карагандинского угольного бассейна;

- расчет параметров крепления анкерной крепи для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна горных выработок Карагандинского угольного бассейна, учитывающих накопленный опыт анкерного крепления горных выработок за последние 10 лет на шахтах Карагандинского угольного бассейна, шахтах ближнего и дальнего зарубежья;

- наблюдается низкий уровень использования программных средств для расчета параметров анкерного крепления горных выработок;

- выполнение расчёта параметров крепления на всех этапах в строгом

соответствии с действующей Инструкцией [55].

Факторы, влияющие на эффективность применения анкерной крепи в подземных горных выработках:

1) Анкерное крепление рекомендуется использовать при следующих горно-геологических условиях:

- при слоистых породах с ослабленными связями между слоями. В этом случае анкеры скрепляют несколько слоев породы в прочную плиту, в которой процесс трещинообразования протекает значительно слабее, чем при отдельных несвязных слоях;

- при наличии в непосредственной кровле выработок слабых пород мощностью до 1,4-2,4 м, над которыми залегает мощный слой крепких пород, анкерование может быть эффективно также при расположении выработки в мощном слабо трещиноватом массиве однородной породы (непосредственная слабая кровля прикрепляется, т.е. подшивается к крепким породам основной кровли). В данном случае анкерное крепление усиливает сцепление пород, повышает их прочность и устойчивость и не дает развиваться своду обрушения.

На процесс поддержания выработок оказывают влияние геомеханические, технологические факторы, промежуточного характера, возникающие в результате влияния горных работ на состояние массива горных пород:

- к геомеханическим факторам относятся природные параметры массива: прочность, объемный вес, трещиноватость, глубину залегания, угол падения;

- к технологическим факторам относятся форма и сечение выработки, податливость и несущая способность крепи;

- в группе факторов промежуточного характера относятся опорное давление вокруг очистного забоя, искусственно вызванное при проведении выработок, трещиноватость вмещающих пород и угольных пластов;

2) Прочность горных пород в Карагандинском угольном бассейне с увеличением их глубины залегания возрастает. При глубине 1000-1200 м в бассейне объемный вес пород меняется от 2,2 до 2,8 г/см³. С увеличением глубины выработки растет и вертикальная составляющая горного давления, но при этом изменяется и прочность вмещающих горных пород, т.е. на одной и той же глубине прочность пород, даже для однотипных пород, может изменяться в существенных пределах. Это приводит к тому то, что горная выработка, расположенная на большей глубине, может быть в лучших условиях по сравнению с выработкой, расположенной на меньшей глубине, но когда эта выработка пройдена в слабых породах или по пласту угля;

3) Одна только прочность пород или глубина залегания не могут характеризовать условия среды, в котором находится горная выработка. Необходимо применение критерия, который должен учитывать, как глубину горной выработки, так и прочность, и плотность пород. Целесообразным будет применение комплексного безразмерного критерия, учитывающего глубину, прочность пород и их плотность:

$$K = \gamma \cdot H / \sigma_{сж} , \quad (2.1)$$

где H – глубина разработки, м;

γ – плотность угля, кН/м³;

$\sigma_{сж}$ – прочность горных пород, кН/м².

Попытки практического применения такого критерия встречаются в источниках [28, с.105, 56-57], но неизвестны детальные его исследования для конкретных условий эксплуатации шахт Карагандинского бассейна.

Согласно [58], при $K < 0,3$ условия поддержания считаются легкими, при $K = 0,3-0,5$ – средней трудности, при $K = 0,5-1,0$ – трудными, при $K > 1,0$ – очень трудными (см. таблицу 1.8).

4) Для оценки сложности горно-геологических условий шахтопластов бассейна $K_{об}$ целесообразно производить ранжирование по формальным критериальным признакам в соответствии с технологическими последствиями горных работ:

$$K_{об} = K_A + K_B + K_B + K_C + K_D + K_E + +K_J + K_K + K_L + K_M + K_N, \quad (2.1)$$

где K_A – управляемость кровли;

K_B – крепость породы непосредственной кровли;

K_B – предел прочности вмещающих пород на сжатие;

K_C – мощность пород непосредственной;

K_D – дизъюнктивная нарушенность пласта (число нарушений на километр выемочного поля);

K_E – длина нарушений на километр выемочного поля, k_l (км/км);

K_J – трещиноватость пород непосредственной кровли по углу их распространения;

K_K – расстояние между трещинами;

K_L – наличие ложной кровли;

K_M – мощность ложной кровли;

K_N – обводненность выработок.

Сложность условий разработки по пластам и шахтам представлена в таблицах 1.7-1.10;

5) По совокупности воздействия отрицательных факторов в Карагандинском угольном бассейне к сложным по условиям поддержания выработок отнести следующие пласты: k_{18} , k_{14} , k_{13} , k_4 , k_3 , k_2 в Промышленном районе; k_{10} , k_7 , d_7 – на Саранском и Шаханском участках; k_{13} , d_2 , d_1 – в Шерубай-Нуринском районе (см. таблицу 1.9);

Дефектность горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна:

Анализ результатов проведенных натурных наблюдений подземных горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна, показал (см. раздел 1.4):

1) Заложение участков подготовительных выработок параллельно направлениям максимальных горизонтальных напряжений благоприятно сказывается на их устойчивости:

– при расположении выработок вне зоны влияния очистных работ направление их заложения не играет существенной роли на их устойчивость;

– в зоне влияния очистных работ выработки, пройденные параллельно направлению север-юг, более устойчивые;

– при расположении выработок вне зоны влияния очистных работ для обеих групп выработок характерны большие смещения со стороны кровли-почвы, чем с боков выработок, а в зоне влияния горных работ картина обратная;

– выработки, пройденные в целике, имеют большую устойчивость по сравнению с пройденными в присечку;

– существенное влияние на устойчивость выработок оказывает вид крепления. Так, наименьшее смещение соответствует анкерному креплению, наибольшее – смешанному;

– при смешанном креплении: конвергенция практически равнозначна как для параллельных, так и для перпендикулярных выработок, расхождение составляет 6-7 %. Но наблюдается уменьшение сечения выработок у параллельных на 16 % больше;

– при анкерном креплении конвергенция со стороны боков выработки при параллельном ее расположении на 33 % меньше, а конвергенция кровли-почвы на 17 % больше, чем при перпендикулярном. Уменьшение проектного сечения выработок не превышает 10 %;

2) Сравнительные натурные наблюдения за проявлением горного давления в выработках с различным сроком службы и назначением на пологих и наклонных пластах в конвейерном штреке 42к₁₀₋₃ шахты им. Куземабаева, закрепленном различными видами крепи позволили установить характер их эксплуатационной работоспособности. При этом деформации выработок, комбинированной анкерно-рамной крепью, меньше в 4-5 раз, чем при металлоарочной крепи;

3) Интенсивная фаза деформаций пород приконтурного массива приходится на первые сутки с момента образования обнажения. Основная масса выработок за время натурных наблюдений сохраняла удовлетворительную устойчивость, что свидетельствует о правильности выбора параметров крепи;

4) В зонах влияния повышенного горного давления наблюдалось увеличение интенсивности смещения на 5-15 %;

5) Сравнение результатов натурных наблюдений показало, что величина смещений пород кровли зависят от мощности слабых пород, залегающих в непосредственной и основной кровле;

6) В зоне опорного давления впереди лавы отмечалось увеличение конвергенции в подготовительных выработках добычного участка на 30 %, с каждым продвижением забоя на 10-20 м величина конвергенции увеличивалась на 5-10 %;

7) В рассмотренных лавых глубина зоны распространения опорного давления впереди лавы составила 30-40 м. При этом, максимальные смещения наблюдались на расстоянии 20 м впереди лавы.

Анализируя проблемы применения анкерного крепления подземных горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна, факторы, влияющие на эффективность применения анкерной крепи в подземных горных выработках,

дефектность горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна можно сделать следующие *выводы*:

- анализ состояния протяженных горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна показал необходимость разработки эффективных способов поддержания горных выработок для существующих горно-геологических и горнотехнических условий;

- наиболее эффективным из существующих способов повышения времени безремонтного поддержания выработки, повышения рентабельности и безопасности отработки угольных пластов, является применение технологии анкерного крепления, в т.ч. двухуровневой и комбинированной, с обоснованием ее параметров [59-60];

- при расчете параметров анкерного крепления для условий эксплуатации горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна, необходимо:

- при расчете анкерной крепи необходимо учитывать накопленный опыт крепления горных выработок за последние 10 лет на шахтах Карагандинского угольного бассейна, шахтах ближнего и дальнего зарубежья, с учетом границ и условий применения анкерной крепи, влияющих факторов горно-геологического и горнотехнического;

- расчет проводить с учетом условий проведения горных выработок: надработка, подработка, ОГД, ПГД, влияние лавы, влияние сближения выработок, сохранение для повторного использования за линией очистного забоя и т.п.;

- с учетом условий интенсивного горного давления на больших глубинах, в слабых трещиноватых породах и при различных способах охраны от влияния очистных работ целиками и без целиков при поддержании выработок на границе с выработанным пространством, с обеспечением безопасности работ при установке анкерной крепи;

- с учетом поправочных коэффициентов, влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов условий эксплуатации горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна.

2.2 Обзор методов расчета анкерного крепления горных выработок

Наиболее используемыми методами расчета анкерного крепления горных выработок в практике отечественного и ближнего зарубежья являются [61-72]:

- методика расчета анкерной крепи горных выработок, применяемых в Республике Казахстан с учетом развития зон разрушения вблизи выработок вглубь массива во времени, с использованием методов конечных и метода граничных элементов;

- инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. Караганда, 2008г., филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный научно-исследовательский центр по проблемам промышленной безопасности», Угольный департамент АО «АрселорМиттал Темиртау»;

– инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах, РФ, 2015г.;

– инструкция «Оценка устойчивости массива горных пород» и «Крепление горных выработок на рудниках», ТОО «Корпорация Казахмыс», Технический департамент, Геотехническое управление, 2011г.;

– стандарт Министерства угольной промышленности Украины «Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерной крепью». Общие технические требования, Киев, 2008г.;

– методика расчета крепей горных выработок, предлагаемая Санкт-Петербургским горным университетом;

– инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Кузбасса;

– крепление выработок набрызгно-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ. Минтрансстрой СССР, 1990г.

В течение 10 лет на шахтах Карагандинского угольного бассейна используется «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. Караганда, 2008 г.».

В данной инструкции выбор рациональных способов проходки, крепления и поддержания горных выработок и их сопряжений определяется устойчивостью пород, в которых они сооружаются. За основу принята классификация ВНИМИ пород непосредственной кровли по устойчивости.

1) Область действия рассмотренных методик распространяется:

– на капитальные выработки околоствольного двора, квершлагги, полевые и пластовые магистральные бремсберги, уклоны и штреки, пластовые выемочные выработки шириной в проходке до 6,5 м, различные сопряжения этих выработок, монтажные камеры с расчетной шириной в проходке до 9 м;

– выработки, проводимые в зоне и вне влияния очистных работ, ненадработанном и неподработанном, а также полностью надработанном и подработанном массиве на расстояниях соответственно больше ширины выработки и 12-ти мощностей пласта;

2) Расчет параметров анкерного крепления производится с учетом следующих факторов:

– горно-геологических: тип, строение пород кровли, класс устойчивости пород непосредственной кровли; расчетное сопротивление пород кровли на сжатие;

– горнотехнических: условия проходки, охраны и поддержания выработки; расчетная ширина и высота выработок и сопряжений в проходке; расчетная глубина расположения выработки от поверхности; расчетная несущая способность анкеров, усиливающих стоек, рам, а также защитных крепей;

3) Плотность установки анкеров в зависимости от устойчивости пород непосредственной кровли должна составлять:

– в классе неустойчивой кровли не менее 2 анк/м²;

– в классе среднеустойчивой кровли – не менее 1,5 анк/м² ;

– в классе устойчивой кровли – не менее 1 анк/м².

В Великобритании, Германии, Австралии, России [73-80], где анкерное крепление на угольных шахтах применяется в течение 30-40 лет, разработаны специализированные программы, на основе многолетних наблюдений за конвергенцией кровли, почвы и боков горных выработок. Программное обеспечение позволяет обоснованно определить параметры анкерного крепления с учетом применяемых анкеров, прогнозируемых горизонтальных и вертикальных напряжений, возникающих вблизи проводимых выработок.

Однако предлагаемое шахтам Карагандинского угольного бассейна программы Австралия (г. Сидсменом), Германией (г. Кулассеком), Россией (РПАК 2), может носить только рекомендательный характер, т.к. они разработаны исходя из конкретных горно-геологических и горно-технологических условий угольной промышленности Австралии, Германии, России.

Анализируя существующие методы расчета анкерной крепи горных выработок в практике отечественного и ближнего зарубежья, Инструкцию по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна, 2008г, можно сделать следующие *выводы*:

– они разработаны исходя из конкретных горно-геологических и горно-технологических условий угольной промышленности соответствующей страны и соответствующего региона.

2.3 Методология расчета параметров технологии анкерного крепления

Методология расчета параметров технологии анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна разработана на основе анализа отечественного и зарубежного опыта применения анкерного крепления, опыта шахт Карагандинского угольного бассейна, изданных нормативных и информационных документов [55, с.3, 80-81], Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна, 2008г.

Методология представляет собой структурную схему, регламентирующую порядок расчета параметров крепи при разработке паспортов крепления для одноуровневой, двухуровневой, комбинированной технологий анкерного крепления.

Основные положения расчета параметров анкерного крепления горных выработок для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна.

Оценка устойчивости пород, интенсивность горного давления заключается в предварительной количественной оценке горно-геологических условий с точки зрения прогноза поведения пород при их обнажении в процессе проведения выработок. Выделяют два вида нарушения устойчивости пород: вывалообразование (обрушение, разрушение в зонах концентрации напряжений) и смещение пород внутрь выработки без обрушений (заплывание выработки).

Интенсивность горного давления зависит от:

- размеров и глубины расположения горных выработок и сопряжений от поверхности;
- способа и параметров их охраны от влияния очистных работ;
- прочности, трещиноватости и устойчивости пород кровли.

Расчет параметров анкерной крепи проводится в зависимости от интенсивности горного давления [83-88], в качестве критерия интенсивности горного давления для расчета анкерной крепи принимаются *расчетные смещения боков и кровли*.

Определение расчетных смещений кровли для сопряжений и различных категорий протяженных горных выработок зависит от конкретных условий проведения и эксплуатации горных выработок:

- расчет параметров самостоятельной анкерной крепи проводится для условий, где расчетные смещения кровли < 300 мм, это преимущественно при поддержании горных выработок на границе с выработанным пространством, проведении их вприсечку и охране разрушающимся целиком;

- на часть смещений более 300 мм рассчитывается крепь усиления (комбинированная крепь);

- расчет параметров анкеров глубокого заложения рассчитываются исходя из возможности «подвески» породной пачки, состоящей из слоев различной мощности и прочности к породам за пределами свода естественного равновесия или к мощному и крепкому слою породы, находящемуся на расстоянии 3 - 6 м и более от кровли горной выработки.

В отличие от металлической рамной крепи, анкерная крепь с момента установки работает с массивом как единая система. Установленные анкера повышают несущую способность массива за счет:

- сшивание слабых пород между собой;
- подшивание слабых пород к устойчивым (анкеры глубокого заложения);
- комбинация двух вышеуказанных механизмов.

Технология анкерного крепления опирается на то, что основную нагрузку от вышележащих пород, несет массив, усиленный анкерной крепью. Анкерная система крепит породу, ограничивая движение кровли и позволяя горизонтальному напряжению удерживать кровлю на месте, не давая ей обрушаться. Если высота отслоившейся породы ниже длины анкерных болтов, поведение выработки будет удовлетворительным (при условии, что напряжения в массиве остаются неизменными). Если высота отслоившейся породы выше высоты (длины) анкеров, увеличение напряжения перед забоем вызовет обрушение кровли. Для поддержания выработки потребуется установка более длинных арматурных болтов. В выработке, укрепленной с помощью как анкерного, так и арочного крепления важно, чтобы каждый метод был достаточен сам по себе и обеспечивал необходимое (требуемое) крепление.

За последние 10 лет произошли существенные изменения в технологии ведения горных работ на угольных шахтах, применяемых способах подготовки и охраны горных выработок, технологии анкерного крепления, конструкциях

анкерной крепи. Расширилась область применения анкерной крепи на ударо- и выбросоопасных пластах, подработанных и надработанных участках шахтного поля, нижних слоях мощных пластов, широких, свыше 6 м, выработках и сопряжениях, в том числе в монтажных и демонтажных камерах, коротких очистных забоях. Наибольшие изменения в технологиях анкерного крепления связаны с внедрением анкеров глубокого заложения (канатных), комбинированного крепления (МРК+анкер).

Для шахт Карагандинского угольного бассейна свободное использование данных новых технологий затруднено отсутствием нормативных документов по их применению. Скорректированная Инструкция по расчету и применению анкерного крепления на шахтах Карагандинского угольного бассейна, в настоящее время в стадии внедрения.

При расчете параметров комбинированной крепи и анкеров глубокого заложения за основу была взята «гипотеза свода» проф. М.М. Протоdjаконова и методический подход компания ООО «РАНК 2», прошедший апробирование в условиях шахт Кузбасса [89].

Согласно гипотезе проф. М.М. Протоdjаконова на кровлю выработки давит порода своим весом в объеме так называемого свода давления, имеющего высоту h_{cb} и ширину $B_p = B + 2 \cdot b$ (рисунок 2.1). При проведении подземной выработки вначале начинается обрушение породы в кровле, а затем и в боках выработки. По мере дальнейшего развития разрушения породы над кровлей образуется свод обрушения (свод естественного равновесия), а в боках – наклонные плоскости, что и принимают для расчета анкерной крепи.

Глубина заложения анкерной крепи рассчитывается, исходя из параметров свода обрушения. В зависимости от отношения высоты подъема свода обрушения h_{cb} к ее фактической ширине B , своды обрушения можно разделить на четыре группы [90-91]:

–своды плоские, если отношение высоты подъема свода h_{cb} к ее фактической ширине B меньше или равна половине пролета: $\frac{h_{cb}}{B} \leq 0,5$;

–своды низкие, если h_{cb}/B больше половины пролета или равна пролету: $0,5 \leq \frac{h_{cb}}{B} \leq 1,0$;

–своды обрушения средние, если h_{cb}/B больше пролета, но меньше или равна полуторной ширине пролета: $1,0 \leq \frac{h_{cb}}{B} \leq 1,5$;

–своды обрушения высокие, если h_{cb}/B больше полуторной ширины пролета: $\frac{h_{cb}}{B} > 1,5$.

Механические свойства породы характеризуются ее углом внутреннего трения. Величина угла прямо пропорциональна прочности породы и обратно пропорциональна действующему в ней напряжению – с глубиной напряжение возрастает, и одновременно уменьшается угол внутреннего трения.

Для зависимости между углом внутреннего трения и величиной h_{cb}/B свода характерны два крайних положения:

– если угол внутреннего трения приближается к 90° , величина h_{cb}

приближается к нулю;

– если угол внутреннего трения приближается к 0° , величина $h_{\text{св}}$ приближается к бесконечности.

Следовательно, чем породы менее прочные и чем меньше угол внутреннего трения, тем большее $h_{\text{св}}/B$ имеет свод обрушения, и, наоборот, чем прочнее породы, тем $h_{\text{св}}/B$ меньше.

Высота свода обрушения $h_{\text{св}}$ пород над горной выработкой определяется по формуле: $h_{\text{св}} = k_{\text{св}} \cdot B_p$, где: $k_{\text{св}}$ – коэффициент свода, учитывающий прочность пород кровли на одноосное сжатие и условия расположения выработки (в зоне и вне зоны влияния очистных работ); B_p – расчетная ширина горной выработки с учетом возможного разрушения боков.

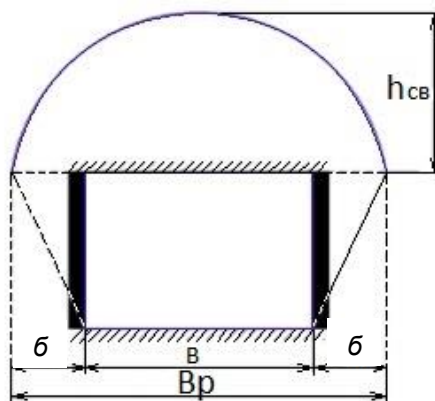


Рисунок 2.1 – Расчетная схема для определения высоты свода естественного равновесия

В зоне влияния очистных работ могут быть применены различные схемы крепления в зависимости от $h_{\text{св}}/B$, характеристики пород кровли: одно-, двухуровневая и комбинированная схема крепления, основанные на двух основных методов анкерования вмещающих пород вокруг выработки:

– метод крепления к более устойчивым породам («подшивки»), когда слабоустойчивые слоистые породы непосредственной или ложной кровли подвешиваются анкерами к основной кровле (концевые части анкеров заглубляют в устойчивую зону массива на глубину до 0,5 м) и применяется при ограниченных размерах зоны обрушения пород до 1,5 м;

– метод крепления слабых пород анкерами («метод балки»), когда различные породные слои, скрепляясь анкерами, образуют составную балку (формируя упрочненную зону в виде плиты, балки, свода, способной воспринять действующее горное давление), предохраняющую кровлю от обрушения (случай «сшивки»).

В соответствии с глубиной обрушения возможно применение двухуровневой (см. рис. 2.2) и одноуровневой (рисунок 2.3) схем крепления пород кровли выработки.

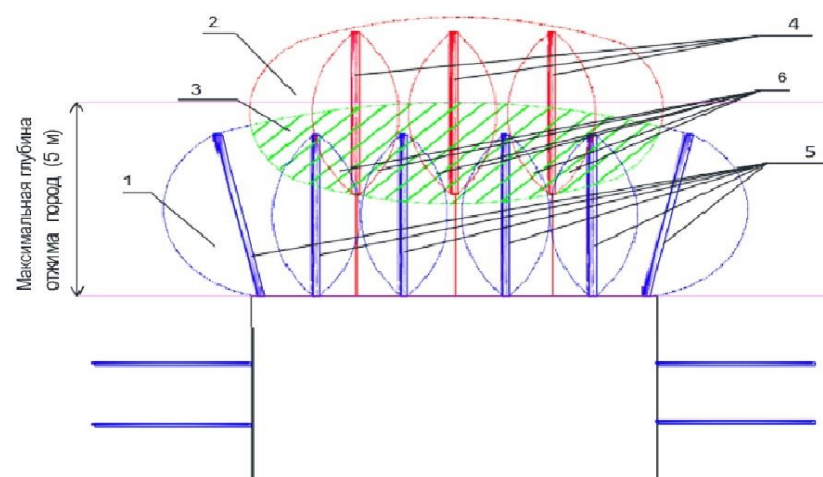


Рисунок 2.2 – Схема двухуровневого крепления пород кровли выработки

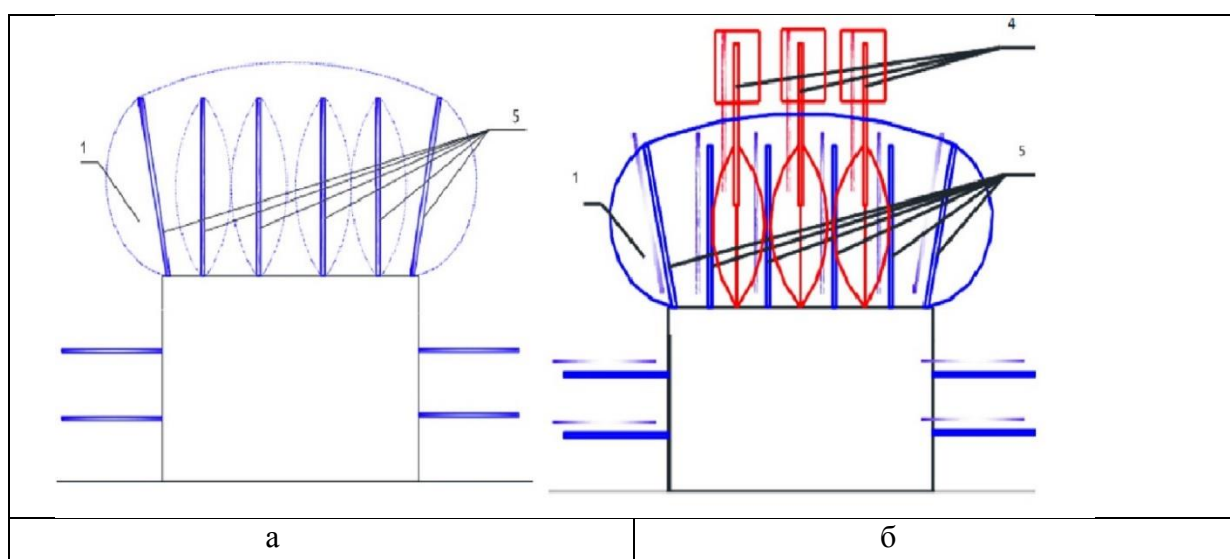


Рисунок 2.3 – Применение одноуровневой (а) и двухуровневой (б) схем крепления пород кровли выработки

На рисунках 2.2, 2.3 выносками обозначены: 1 – зона 1 (зона упрочнение кровли сталеполимерными анкерами); 2 – зона 2 (зона упрочнение кровли канатными анкерами); 3 – зона упрочнения соединения зоны 1 (зоны упрочнение кровли сталеполимерными анкерами) и зоны 2 (зоны упрочнение кровли канатными анкерами); 4 – канатные анкеры; 5 – сталеполимерные анкеры; 6 – зона максимального упрочнения соединения зоны 1 и зоны 2.

При расчете анкерного крепления параметров анкерного крепления горных выработок для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного были решены следующие задачи:

- определены границы и условия применения технологий анкерного крепления;
- определены и классифицированы влияющие факторы горно-геологического и горнотехнического характера условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

– с учетом накопленного опыта анкерного крепления горных выработок на шахтах, уточнены значения поправочных коэффициентов горно-геологического и горнотехнического характера, для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

– определен порядок расчета параметров анкерной крепи в зависимости от величины смещения кровли и расчетных нагрузок;

– сформулированы границы и условия применения одно-, двухуровневого, комбинированного технологий анкерного крепления.

1) Границы и условия применения анкерной крепи горных выработок

Реальный массив горных пород представляет собой сложную среду, образованную под влиянием различных геологических факторов.

Механические свойства пород в массиве разнятся между собой в широких пределах. На характер процессов, протекающих в массиве вокруг проводимых горных выработок, оказывает существенное влияние, кроме механических свойств пород, их напряженное состояние, обусловленное техногенными процессами при ведении горных работ.

К главным свойствам массива горных пород, учитываемых при определении конструкции и параметров анкерной крепи, относятся прочностные и деформационные его характеристики, такие как упругость, пластичность, хрупкость, сплошность, изотропность и однородность его тела.

На выбор конструкции и параметров анкерной крепи большое влияние, кроме горно-геологических условий оказывают, технические характеристики анкерной крепи и горнотехнические условия проведения и эксплуатации горной выработки (раздел 1.8, 1.9), которые, с учетом опыта применения анкерного крепления горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна, позволили определить границы применения анкерного крепления (таблица 2.1) в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий проведения и эксплуатации горной выработки (таблица 2.2).

Таблица 2.1 – Границы применения анкерного крепления

№	Границы применения
1	2
1.	Анкерная система крепит породу, ограничивая деформации и за счет горизонтального напряжения удерживает кровлю, не давая ей обрушиться. Предельно возможная относительная деформация пород кровли горной выработки, закрепленной анкерами, не должна превышать 2 %, сверх этой величины кровли обычно обрушаются
2.	Применима для горизонтальных и наклонных (до 35° и при угле падения пород в т.ч. более 35°) подземных горных выработок и их сопряжений при следующих горно-геологических и горнотехнических условиях: – максимальная расчетная ширина выработки – не более 7 м; – поддерживаемые в ненадработанном и подработанном, также полностью надработанном и подработанном массивах на расстояниях, соответственно, больше ширины выработки и двенадцати мощностей пласта; – прочность на одноосное сжатие оставляемой угольной пачки в кровле горной выработки или сопряжения – не менее 15 МПа

Продолжение таблицы 2.1

1	2
3.	Применима при прочности пород на сжатие $R_{ск} < 35 \text{ МПа}$ и смещении пород кровли более 150 мм, с ежесуточным мониторингом состояния устойчивости контуров выработок и внесения коррективы в паспорт проведения и крепления приконтурных пород по разрешению технического руководителя предприятия
4	Не применяется при проведении горных выработок в особо сложных горно-геологических условиях: – в зонах повышенного горного давления (ПГД) под- и над целиками и краевыми частями на сближенных пластах в зонах разрывных геологических нарушений с дробленными и обводненными (капез, струи и т.п.) породами; при наличии выветренных, пластичных вмещающих пород; замки складок; массивы с выветренными и пластичными породами; – возможно применение при устойчивых породах кровли с прочностью пород на сжатие $R_{ск} \geq 35 \text{ МПа}$, в т.ч. при выработках, проведенных вприсечку к выработанному пространству (предыдущий выемочный столб), с ежесуточным контролем деформаций пород кровли посредством реперных станций, устанавливаемых не более чем через 10 м и проведения видеоэндоскопических исследований при наличии соответствующего оборудования

Таблица 2.2 – Условия применения анкерного крепления

Горнотехнические условия	Условия применения	Применение анкерного крепления
1	2	3
По сроку службы выработок	Использование анкерной крепи в горных выработках и сопряжениях сроком службы до 10 лет с сухими породами в кровле и при влажности воздуха меньше 85%	Рекомендуется
По обводненности	В горных выработках с обводненными породами происходит их разупрочнение, и, поэтому расчетное сопротивление пород сжатию должно корректироваться из-за их увлажнения. $k_{вл}$ – коэффициент снижения сопротивления пород на сжатие за счет воздействия влаги для каждого слоя пород кровли, (таблица 2.3) принимается в зависимости от прочности пород и учитывается только в случае длительного обводнения пород в горных выработках (более 6 месяцев), для остальных условий $k_{вл}=1$	Рекомендуется, с учетом корректировки
По подработке и надработке разрабатываемых пластов	Горные выработки, поддерживаемые в ненадработанном и неподабранном, также полностью надработанном и подработанном массивах на расстояниях, считаются, соответственно, больше ширины выработки и двенадцати мощностей пласта	Рекомендуется, при выполнении условий
По зонам повышенного и опорного горного давления, влияния очистных работ, скважин направленного гидроразрыва пласта (НГРП)	Применение одноуровневой анкерной крепи в качестве единственного средства крепления выработок в таких зонах не допускается, однако при устойчивых породах кровли с прочностью пород на сжатие $R_{ск} \geq 35 \text{ МПа}$, возможно применение самостоятельной одноуровневой анкерной крепи с ежесуточным контролем деформаций пород кровли посредством реперных (замерных) станций, устанавливаемых не более чем через 10м	Рекомендуется, под контролем

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3
По пересечению наслоений пород (пластовые и полевые выработки)	Пересечение наслоений пород (пластовые и полевые выработки)	Рекомендуется, с разработкой специальных паспортов крепи
По выработанному пространству	Для крепления выработок, поддерживаемых позади лавы (прямоточная схема проветривания), необходимо использовать анкерно-рамную крепь; При возвратноточной схеме проветривания впереди лавы – анкерную и усиливающую крепь (рама+анкер, гидростойка, двухуровневое анкерования)	Рекомендуется
По воздействию смежных выработок	Ширина угольного целика принимается более 15м	Рекомендуется, при соблюдении условий
Сопряжения	Крепление сопряжений	Рекомендуется

Значение поправочного коэффициента снижения сопротивления пород на сжатие за счет воздействия влаги для каждого слоя пород кровли выработки $k_{вл}$ на шахтах Карагандинского угольного бассейна принимается в зависимости от прочности пород (таблица 2.3) и учитывается только в случае длительного обводнения пород в горных выработках (более 6 месяцев), для остальных условий $k_{вл}=1$.

Таблица 2.3 – Значения коэффициента снижения сопротивления пород на сжатие за счет воздействия влаги для каждого слоя пород кровли $k_{вл}$

Сопротивление пород одноосному сжатию в образце, R_c , МПа	30	50	60	80	100	120	160	200
Значение коэффициента $k_{вл}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,82	0,86	0,9

С учетом установленных границ и условий применения анкерного крепления, порядок расчета параметров технологии анкерного крепления был определен для условий проведения и поддержания подготовительных горных выработок, представленных в таблице 2.4.

2) Основные факторы, влияющие на работу анкерной крепи, сгруппированы следующим способом (Приложение Д):

- I. Горно-геологические условия проведения горных выработок включают:
 - тип строения пород кровли;
 - крепость породы слоя, МПа;
 - мощность слоя, м;
 - понижающий прочность коэффициент влажности породы слоя;
 - угол внутреннего трения пород, Град;

- объемный вес, т/м^3 ;

II. Технические характеристики анкерной крепи:

- величина заглубления в устойчивую зону массива пород кровли анкеров первого уровня, м;
- длина выступающей из шпура части анкера из пород кровли анкеров первого уровня, м;
- несущая способность анкера кровли, кН;
- несущая способность бокового анкера, кН;
- длина закрепления анкера глубокого заложения выше контура свода естественного равновесия, м;
- выступающая внутрь горной выработки часть анкера глубокого заложения, м;
- несущая способность анкера глубокого заложения, кН;
- сопротивление рамной крепи, кН/м;
- поправочный коэффициент, учитывающий уменьшения плотности установки рамной крепи, при наличии анкерного крепления, с учетом класса пород;

III. Горнотехнические условия проведения и эксплуатации горной выработки:

- ширина выработки, м;
- высота выработки, м;
- расчетная глубина расположения выработки от поверхности, м;
- полупролет выработки, м;
- форма поперечного сечения;
- расположение выработки;
- воздействие других выработок;
- расстояние до смежных выработок, влияющих на расстоянии, м;
- вид выработки и условия ее поддержания;
- тип кровли по обрушаемости;
- охрана целиком, его ширина, м;
- степень связывания и упрочнения пород анкерами, м;
- коэффициент концентрации напряжений в боках горных выработок;
- ширина взаимовлияющей выработки.

Как отмечалось выше, в качестве критерия интенсивности горного давления для расчета анкерной крепи применяются расчетные смещения пород кровли для горно-геологических и горнотехнических условий проведения и эксплуатации горной выработки.

При разработке паспортов крепления горных выработок, важно принимать во внимание расположение пласта относительно проводимой выработки, угол его падения, крепость пород в непосредственной кровле, строить эпюру возможных зон формирования трещиноватости, свода естественного обрушения и параметров массива боковых стенок подверженные сползанию.

Таблица 2.4 – Условия поддержания горных выработок, включённых в обоснование и расчет параметров анкерного крепления

№	Условия поддержания горных выработок
I.	Горные выработки, проводимые в массиве и поддерживаемые в продолжении всего срока службы вне зоны влияния очистных работ
II.	Горные выработки, проводимых в массиве, а затем поддерживаемые в зоне влияния очистных работ
III.	Горные выработки, проводимые в пластовых выработках, проводимых в массиве и охраняемых за лавой целиком $0,1 \cdot H > l_u > 15$ м, а затем погашаемых за смежной лавой
IV.	В пластовых выработках, проводимых в массиве и погашаемых за лавой.
V.	Для пластовых выработок, проводимых в массиве, а затем охраняемых разрушающимся в выработанном пространстве целиком шириной 2-3 мощности пласта и поддерживаемых на границе с выработанным пространством
VI.	В пластовых выработках, проводимых вприсечку к выработанному пространству
VII.	В зонах ППГД с над/подработанным пластом

3) Порядок расчета параметров анкерной крепи, для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна, представлена следующей последовательностью шагов:

- I. Определение расчетного сопротивления на сжатие слоев пород кровли и боков горной выработки;
- II. Определение расчетного смещения кровли горной выработки;
- III. Выбор одно-, двухуровневой, комбинированной схемы крепления горных выработок, в зависимости от типа строения пород кровли и прочности вмещающих пород;
- IV. Расчет параметров анкерного крепления;
- V. Формирование паспорта крепления горной выработки.

2.3.1 Определение расчетного сопротивления на сжатие пород кровли и боков горной выработки

Порядок определения расчетного сопротивления пород кровли и боков выработки на сжатие представляется следующей последовательностью шагов:

1) Определяется расчетная ширина B_c выработки, в зависимости от воздействия на нее других выработок (одиночная, сопряжение с пересечением, сопряжение с примыканием) (таблица 2.5).

Расчетная ширина всех протяженных выработок принимается равной их максимальной фактической ширине в проходке.

Расчетная глубина для сопряжений принимается равной фактической глубине от поверхности.

Расчетная глубина для протяженных горизонтальных и наклонных выработок, различные участки которых находятся на разных отметках, отличающихся не более чем на 20 %, принимается равной их максимальной глубине. При большей разности отметок расчетная глубина таких выработок принимается по участкам с различными глубинами.

Таблица 2.5 – Расчетная ширины горной выработки, B_c

№	Воздействие других выработок	Порядок расчета
1.	Одиочная	$B_c = B$, м; B – максимальная фактическая ширина выработки, м
2.	Сопряжение с пересечением	$B_c = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$, м; $B_1; B_2$ – фактическая ширина пересекающихся выработок в проходке
3.	Сопряжение с примыканием	$B_c = \sqrt{B_1^2 + 0,5 \cdot B_2^2}$, м; B_1 – фактическая ширина основной выработки, м; B_2 – фактическая ширина примыкающей выработки, м

2) Исходя из того, что глубина заложения анкерной крепи первого уровня рассчитывается для крепления пород кровли при низком своде обрушения, количество N слоев породы кровли определяется на высоте кровли $h_{св} = 0,5 \cdot B_c$ (рисунок 2.4), где B_c – расчетная ширина выработки; $h_{св} < 0,5 \cdot B_c$ – условие низкого свода обрушения, $h_{св}$ – высота свода обрушения кровли выработки.

На шахтах Карагандинского угольного бассейна для крепления, «сшивки» низкого свода $h_{св} < 0,5 \cdot B_c$, используются анкеры длиной равной $l_a = 2,4$ м;

3) Определяется мощность слоев пород и угля в кровле $m'_1, m'_2, \dots, m'_n$ на высоте $0,5 \cdot B_c$, из условия, что $(m'_1 + m'_2 + \dots + m'_n) = 0,5 \cdot B_c$, м, и в боках выработки $(m''_1 + m''_2 + \dots + m''_n) = h$, м;

4) Производится расчет сопротивления породы и угля в кровле на одноосное сжатие $R_{СК}$, МПа на высоте $0,5 \cdot B_c$, м, (таблица 2.6);

5) Производится расчет сопротивления $R_{СБ}$, МПа, боков выработки на высоте h , м, (таблица 2.6);

6) В зависимости от полученного расчетного сопротивления $R_{СК}$, МПа кровли выработки, определяется класс породы кровли на устойчивость (таблица 2.7).

Поправочные коэффициенты горно-геологического и горнотехнического характера расчета параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна, с учетом опыта применения анкерного крепления на шахтах бассейна и результатов производственных наблюдений, приведены ниже:

– сопротивление пород на сжатие промышленных районов бассейна представлены в таблицах 1.4-1.5.

Сопротивление пород кровли на сжатие определялось практически, путем отбора керна и его испытанием на одноосное сжатие в лабораторных условиях или использованием данных по геологическим скважинам;

– физико-механические свойства вмещающих пород представлены в таблице 1.3.

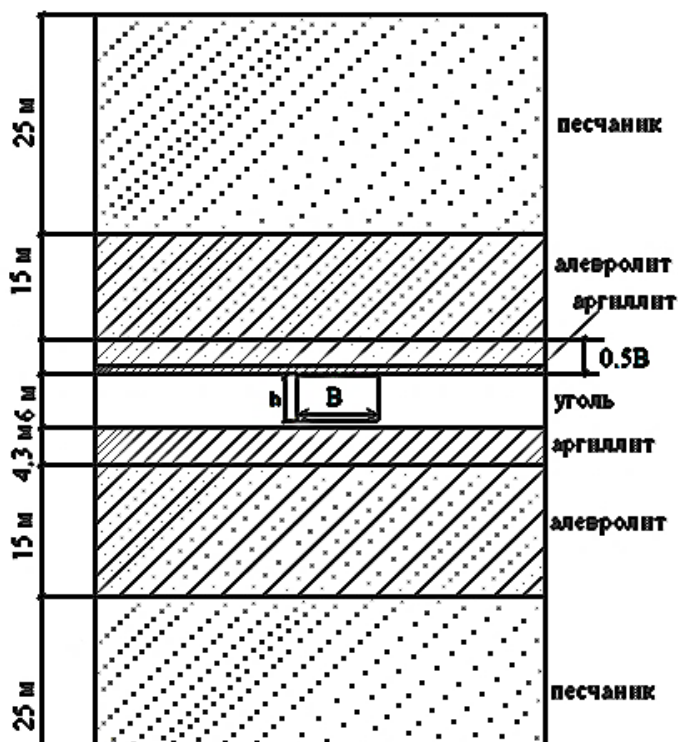


Рисунок 2.4 – Расчетная схема для определения параметров крепления горной выработки

Таблица 2.6 – Определение расчетного сопротивления пород на сжатие кровли, боков выработки

№	Величина	Порядок расчета
1	2	3
1.	Расчетное сопротивление пород кровли на сжатие, МПа, на высоте $0,5 \cdot B_c$, м	$R_{ск} = \frac{(R_{c1} \cdot m_1 \cdot k_{вл1} + R_{c2} \cdot m_2 \cdot k_{вл2} + \dots + R_{cn} \cdot m_n \cdot k_{влn}) \cdot k_c}{0,5 \cdot B_c},$ $R_{c1}, R_{c2}, \dots, R_{cn}$ – сопротивление сжатию различных слоев пород, МПа; $m_1; m_2; m_n$ – мощности различных слоев пород, м; $k_{вл}$ – коэффициент снижения сопротивления пород сжатию за счет воздействия влаги (таблица 2.8); k_c – коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность кровли трещиноватостью (таблица 2.9)
2.	Сопротивление пород кровли, МПа. после обнажения на высоте $1,5 \cdot B_c$, м	$R'_{ск} = \frac{(R_{c1} \cdot m_1 \cdot k_{вл1} + R_{c2} \cdot m_2 \cdot k_{вл2} + \dots + R_{cn} \cdot m_n \cdot k_{влn}) \cdot k_c}{1,5 \cdot B_c}$

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3
3.	Расчетное сопротивление пород для боков выработки, МПа	$R_{сб} = \frac{(R_{c1} \cdot m_1 \cdot k_{вл1} + R_{c2} \cdot m_2 \cdot k_{вл2} + \dots + R_{cn} \cdot m_n \cdot k_{влn}) \cdot k_c}{h}$
4.	Количество слоев, шт	N
5.	Мощность каждого слоя, м	$m_1, m_2, \dots, m_n$, м. Сумма мощностей слоев, м, соответственно, равна $0,5 \cdot B_c, 1,5 \cdot B_c, h$.
6.	Сопротивление на сжатие слоев породы и угля, МПа	$R_{c1}, R_{c2}, \dots, R_{cN}$
7.	Тип кровли по обрушаемости	$I \text{ тип}, II \text{ тип}, III \text{ тип}$
8.	Поправочный коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность кровли трещиноватостью	$K_c = f(R_c)$
9.	Класс кровли	Классы пород кровли = $f(R_c)$

Примечание. Для *I* тип кровли, допускается расчет по формуле:

$$R_c = \frac{(R_{\max} + R_{\min}) \cdot K_c}{2}, \quad (2.2)$$

где $R_{\max}$ и $R_{\min}$ – максимальное и минимальное сопротивление пород на одноосное сжатие в кровле на высоту В.

Таблица 2.7 – Классы пород кровли

Сопротивление сжатию пород кровли	Класс породы кровли	Характеристика породы
$R_c \leq 30$ МПа	I класс, Неустойчивые	Обрушение пород кровли после обнажения на расстоянии от забоя до 1 м. Преимущественно тонкослоистые и трещиноватые аргиллиты
$30 < R_c \leq 80$ МПа	II класс, Породы кровли средней устойчивости	Сохранение устойчивости при обнажении кровли на расстоянии от забоя от 1 до 3 м. Преимущественно слоистые малотрещиноватые алевролиты и песчаники
$R_c > 80$ МПа	III класс, Устойчивые породы кровли	Сохранение устойчивости кровли при обнажении на расстоянии от забоя свыше 3 м. Преимущественно нетрещиноватые песчаники, мергели

Таблица 2.8 – Поправочный коэффициент снижения $k_{вл}$ сопротивления пород за счет воздействия влаги

Сопротивление пород одноосному сжатию в образце R_c , МПа	30	50	60	80	100	120	160	200
Значение коэффициента $k_{вл}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,82	0,86	0,9

Таблица 2.9 – Поправочный коэффициент k_c , учитывающий дополнительную нарушенность кровли трещиноватостью

Классификация типа кровли	Тип кровли	k_c -
I тип кровли	Однородная, из слоистых, преимущественно глинистых, песчано-глинистых и песчаных пород (аргиллитов и алевролитов), $R_c < 60$ МПа	0.9
II тип кровли	Неоднородная, над непосредственной кровлей из слоистых пород мощностью от 0 до 0,3·В залегают песчаники $R_c \geq 60$ МПа	0.9
III тип кровли	Однородная и неоднородная с интенсивной кососекущей трещиноватостью в зонах тектонических нарушений	0.6

2.3.2 Определение расчетных смещений пород кровли с анкерной крепью

По полученному значению $R_{ск}$, МПа и глубине заложения выработки H , м, определяется расчетное смещение пород кровли U_M , МПа (таблицы 2.10-2.23).

Для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна $R_{ск}$ разработана на основе:

- анализа накопленного опыта по применению анкерного крепления на шахтах бассейна;
- изданных нормативных и информационных документов [60-71];
- Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна, 2008 г [54].

Таблица 2.10 – I. В горных выработках, проводимых в массиве и поддерживаемые в продолжении всего срока службы вне зоны влияния очистных работ

№	Величина	Порядок расчета
1.	Расчетное смещение в кровле, мм	$U_M = U_T \cdot K_\alpha \cdot K_{ш} \cdot K_\epsilon \cdot K_a$
2.	Типовые смещения в кровле, мм	$U_T = f(H, Rc)$ (рисунок Ж.1), при $B = 5$ м; $K_\alpha = K_{ш} = K_\epsilon = K_a = 1$.
3.	Глубина выработки, м	H
4.	Поправочный коэффициент $K_{ш}$, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5$ м	$K_{ш} = 0,25 \cdot (B - 1)$; $B = B_c$ – фактическая ширина выработки
5.	Поправочный коэффициент K_ϵ , учитывающий влияние других смежных выработок на расстояниях	$K_\epsilon = 1$, при $\ell > 15$ м; $K_\epsilon = 1 + \left(1 - \frac{\ell}{15}\right)$, при $\ell \leq 15$
6.	Расстояние до смежных выработок (влияние других смежных выработок на расстояниях), м	ℓ
	Поправочный коэффициент K_a учитывающий расположение выработок	$K_a = f$ (Расположение выработок), таблица 2.11.
7.	Расположение выработок	– Штрек, уклон, бремсберг, сопряжения; – Квершлаг
8.	Поправочный коэффициент K_α , учитывающий степень связывания и упрочнения пород	$K_\alpha = f$ (Длина закрепления стержня анкера), таблица 2.12
9.	Длина закрепления стержня анкера в скважине (шпуре) скрепляющим составом, м	– 0,5 – 1 – по всей длине

Таблица 2.11– Поправочный коэффициент K_a , учитывающий расположение выработок

Расположение выработок	K_a – коэффициент, учитывающий расположение выработок
Штрек, уклон, бремсберг, сопряжения	1
Квершлаг	0,7

Таблица 2.12 – Поправочный коэффициент K_α , учитывающий степень связывания и упрочнения пород сталеполимерными анкерами

Длина закрепления стержня анкера в скважине (шпуре) скрепляющим составом, м	K_α – коэффициент, связывания и упрочнения пород анкерами
1	2
1	0,85
0,5	1
по всей длине	0,75

Таблица 2.13 – II. В горных выработках, проводимых в массиве, а затем поддерживаемых в зоне влияния очистных работ

№	Величина	Порядок расчета
1.	Расчетное смещение в кровле, мм	$U_{\text{ц}} = U_{\text{м}} + \Delta U_{\text{ц}} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{а}} \cdot K_{\text{к}}$
2.	Поправочный коэффициент $K_{\text{к}}$, учитывающий обрушаемость основной кровли	$K_{\text{к}} = f(\text{Тип кровли})$, таблица Ж.5
3.	Тип кровли	– I тип кровли; – II тип кровли; – III тип кровли
4.	Расчетные смещения кровли, мм, в период охраны целиком шириной $0,1 \cdot H > \ell_{\text{ц}} > 15 \text{ м}$	$\Delta U_{\text{ц}} = f(H, R_{\text{с}}, \ell_{\text{ц}})$ (рисунок Л.5)
5.	Охрана целиком (мощность целика), м	$0,1 \cdot H > \ell_{\text{ц}} > 15, \text{ м}$

Значения $U_{\text{т}}$, $\Delta U_{\text{ц}}$ определяются по номограммам действующей инструкции по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна, 2008г [54].

Таблица 2.14 – Поправочный коэффициент $K_{\text{к}}$, учитывающий обрушаемость основной кровли

Тип кровли	$K_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий обрушаемость основной кровли
I тип кровли	1
II тип кровли	1,2
III тип кровли	1

Таблица 2.15 – III. В горных выработках, проводимых в пластовых выработках, проводимых в массиве и охраняемых за лавой целиком $0,1 \cdot H > \ell_{\text{ц}} > 15 \text{ м}$, а затем погашаемых за смежной лавой

№	Величина	Порядок расчета
1.	Расчетное смещение в кровле, мм	$U_{\text{ц}} = U_{\text{м}} + (\Delta U_{\text{ц}} + U_{\text{л}}) \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{а}} \cdot K_{\text{к}}$
2.	Расчетные смещения кровли, мм, в период охраны целиком шириной $0,1 \cdot H > \ell_{\text{ц}} > 15 \text{ м}$	$\Delta U_{\text{ц}} = f(H, R_{\text{с}}, \ell_{\text{ц}})$, мм (рисунок Ж.6)
3.	Охрана целиком (мощность целика), м	$0,1 \cdot H > \ell_{\text{ц}} > 15, \text{ м}$
4.	Расчетные смещения кровли в зоне влияния погашающей выработки, мм	$U_{\text{л}} = f(H, R_{\text{с}})$, мм (рисунок Л.7)

Таблица 2.16 – IV. В пластовых выработках, проводимых в массиве и погашаемых за лавой

№	Величина	Порядок расчета
1)	Расчетное смещение в кровли, мм	$U_{\Pi} = U_M + U_{\Pi} \cdot K_{III} \cdot K_B \cdot K_K \cdot K_a$, (рисунок Ж.7)

Таблица 2.17 – V. Для пластовых выработок, проводимых в массиве, а затем охраняемых разрушающимся в выработанном пространстве целиком шириной 2-3 мощности пласта и поддерживаемых на границе с выработанным пространством

№	Величина	Порядок расчета
1	Расчетное смещение в кровле, мм	$U_{\Pi} = U_M + (\Delta U_{\Pi} + U_{\Pi}) \cdot K_{III} \cdot K_B \cdot K_a \cdot K_K$

Определение смещений пород кровли в зонах повышенного горного давления в условиях с подработанным и наработанным пластом, в пластовых выработках, проводимых в присечку к выработанному пространству приведены в Приложении Е.

2.3.3 Выбор схемы крепления горных выработок с использованием технологии анкерного крепления

Анализ национальных нормативных документов по проблемам промышленной безопасности [54, с. 9], результатов шахтных натурных наблюдений, накопленного опыта применения анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна (см. раздел 1), нормативных документов по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в угольной промышленности РФ [2, стр.18], позволил выявить условия применения технологий анкерной крепи.

Условия применения канатных анкеров. Если высота отслоившейся породы ниже длины анкерных болтов, поведение выработки будет удовлетворительным (при условии, что напряжения в массиве остаются неизменными). Если высота отслоившейся породы выше высоты (длины) анкеров, увеличение напряжения перед забоем вызовет обрушение кровли. Для поддержания выработки потребуется установка более длинных арматурных стержней (усиление тросовыми и канатными анкерами длиной 5 - 7 и более метров или составными анкерами) или комбинированное крепление выработки из сочетания арок рамной податливой и жесткой анкерной крепей.

Анкеры глубокого заложения устанавливаются между рядами анкеров первого уровня. Установка анкеров глубокого заложения при среднеустойчивой непосредственной кровле проводится на расстоянии не более 20 м от забоя проводимой выработки. При мощности непосредственной кровли, превышающей активную длину анкеров первого уровня, анкеры глубокого

заложения устанавливаются на расстоянии не более 10 м от забоя.

Условия применения самостоятельной одноуровневой анкерной крепи. Применение анкерной крепи в качестве единственного вида крепления не допускается в горных выработках, расположенных в зонах геологических нарушений, выветренных и обводненных пород, при наличии тонких прослоев угля, кальцита или углистых аргиллитов в пределах глубины заделки анкеров.

Условия применения комбинированной крепи. В горных выработках с породами II категории устойчивости (таблица 2.25), когда смещения кровли достигают более 100 мм, рекомендуется применять комбинированную крепь, состоящую из анкеров с металлическими подхватами, решетчатой затяжки и металлоарочной крепью. В выработках, в кровле которых залегают неустойчивые породы ($R_{ск} < 35 \text{ МПа}$), рекомендуется применять комбинированную крепь, состоящую из анкерного крепления в сочетании с металлоарочной крепью.

Анкеры в сочетании с металлическими подхватами, решетчатыми затяжками применяются для крепления кровли выработки с прочностью углей и пород на сжатие $R_{ск}$ соответственно не менее 10 и 25 МПа, а также боков выработки с прочностью углей и пород на сжатие не менее 6 и 20 МПа.

Таблица 2.25 – Категории устойчивости пород

Категория устойчивости пород	Оценка состояния устойчивости пород	Смещения пород кровли горной выработки U , мм
I	устойчивые	до 100
II	среднеустойчивые	100-200
III	неустойчивые	200-500
IV	очень неустойчивые	более 500

С учетом накопленного опыта применения анкерного крепления, определены условия применения одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления для условий эксплуатации Карагандинского угольного бассейна, в зависимости от глубины заложения выработки (h), сопротивления пород на сжатие (R_c), смещения пород кровли (U_M), прочности вмещающих пород (таблица 2.26).

2.3.4 Расчет параметров анкерной крепи в зависимости от величины смещения пород кровли и расчетных нагрузок на крепь

Ожидаемые нагрузки на крепь зависят от расчетных смещений и параметров выработки.

В общем виде расчетные нагрузки на крепь описываются уравнением вида:

$$P_a = a \cdot U + b, \text{ кН/м}^2, \quad (2.2)$$

где, a и b – коэффициенты, зависящие от ширины выработки и расчетных смещений.

Таблица 2.26 – Условия выбора технологии анкерного крепления

Сопротивление пород кровли (R_c), МПа	Расчетная мощность пород кровли, м	Значение смещения пород кровли (U_m), мм	Глубина заложения выработки (H), м	Технология анкерного крепления
≥ 35	$0,5 \cdot B_c$	≤ 150		Самостоятельное анкерное
< 35	$0,5 \cdot B_c$	≤ 150	≤ 300	Самостоятельное анкерное
< 35	$1,5 \cdot B_c$			Комбинированное
≥ 35	$1,5 \cdot B_c$			Двухуровневое

Основные параметры анкерной крепи: длина штанги, м; расстояние между анкерами в ряду; расстояние между рядами анкеров, зависят от значений расчетных смещений и нагрузок на крепь.

Длина штанги (анкера) зависит от режима работы анкерной системы. Выделяют два режима работы анкерной крепи:

- подшивание слабых пород к прочным породам;
- сшивание слабых слоев между собой для создания единой балки.

При подшивании слабых пород к более прочным вышележащим породам длина анкера определяется по формуле:

$$l_a = m_{cl} + l_z + l_e, \text{ м}, \quad (2.3)$$

где m_{cl} – мощность слоев слабых пород, м;

l_z – длина части анкера заглубляемой в крепкие породы, м; обычно принимают не менее 0,3 м.

l_e – длина выступающей в выработку части анкера, м; принимается в зависимости от конструкции анкера (обычно не менее 0,1 м).

При большой мощности слабых пород, когда невозможно короткими анкерами (2,4 м) подшить слабые слои к более крепким, анкерами длиной 2,4 м создается единая несущая балка, затем с помощью длинных анкеров (длиной 3,5 и более) созданная балка подшивается к крепким породам.

При этом длину анкеров принимают таким образом, чтобы конец анкера был заглублен в крепкие породы не менее чем на 0,5 м.

Расстояние между анкерами в ряду определяется исходя из заданной несущей способности анкера и ожидаемых нагрузок.

$$A_a = (N_a/P_a)^{0.5}, \text{ м.} \quad (2.3)$$

Порядок расчета параметров одноуровневого анкерного крепления кровли выработки представлен в таблице 2.27.

Порядок расчета параметров анкеров глубокого заложения представлен в таблицах 2.28 – 2.29.

Необходимыми исходными данными для расчета параметров анкерной крепи в боках выработок являются их расчетная высота (h , м), расположение, мощность (m , м) и расчетное сопротивление на сжатие слоев пород и пласта в боках выработки ($R_{сб}$, МПа).

В качестве критерия интенсивности горного давления для определения необходимости установки и расчета параметров анкерной крепи в боках выработок принимается степень относительной напряженности пород и пласта σ_B . В условиях, где напряжения в боках меньше расчетного сопротивления сжатию всех, в том числе и наиболее слабых слоев пород и угля в боках < 1 , то крепление боков анкерной крепью предусматривается с несущей способностью анкеров не менее 80 кН.

Порядок определения параметров рамной металлоарочной крепи при комбинированном анкерном креплении представлен в таблице 2.31.

Порядок расчета параметров крепи в боках горных выработок представлен в таблице 2.32.

2.3.5 Поправочные коэффициенты, влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов

При расчете одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления горных выработок для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна были учтены значения поправочных коэффициентов, влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов (таблицы 2.33-2.34), определенные с учетом анализа накопленного опыта, результатов производственных наблюдений применения анкерной технологии на шахтах бассейна.

Значения поправочных коэффициентов, могут уточняться и корректироваться по результатам производственных наблюдений и научно-исследовательских работ, а также в процессе консультационно-методического сопровождения паспортов крепления горных выработок.

Таблица 2.27 – Расчет параметров одноуровневого анкерного крепления кровли выработки

Величина	Порядок расчета	Примечание
1	2	3
Длина анкера, ℓ_a , м	$\ell_a = \ell_{\text{в}} + \ell_3 + \ell_n$	$\ell_{\text{в}}$ – глубина возможного обрушения пород свода, м; ℓ_3 – величина заглубления в устойчивую зону массива пород, составляет 0,3 – 0,5 м; ℓ_n – длина, выступающей из шпура, части анкера, зависящая от конструкции и толщины опорно-поддерживающих элементов (0,1 – 0,2 м)
Высота свода обрушения пород в кровле, $\ell_{\text{в}}$, м	$\ell_{\text{в}} = \frac{a'}{f \cdot k_c},$ $a' = a + h \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$	a – полупролет выработки по ее ширине, м; φ – угол внутреннего трения пород (трение между частицами породы) (для шахт Карагандинского угольного бассейна рекомендуется принимать равным 35°). f – крепость по шкале проф. Протодяконова, принимается равным значению слабых пород, если слой слабой породы превышает $0,1 \cdot B_c$ иначе значение определяется по формуле: $f = \frac{f_1 \cdot m_1 + f_2 \cdot m_2 + \dots + f_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$ h – высота выработки, м k_c – коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность кровли трещиноватостью, см. таблицу 2.9
Плотность установки анкеров в кровле, Π_k , шт/м ²	$\Pi_k = \frac{(l_a - l_n) \cdot \gamma_k \cdot n_{\Pi}}{P_a}$ $\gamma_k = \frac{\gamma_1 \cdot m_1 + \gamma_2 \cdot m_2 + \dots + \gamma_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$	γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли в пределах зоны обрушения пород (на высоте $0,5 \cdot B_c$), кН/м ³ . n_{Π} – коэффициент пригрузки (направлен на определение давления, испытываемого нижним слоем породы кровли со стороны вышележащих слоев), для Карагандинского угольного бассейна принимается равным: $n_{\Pi} = 2,5$, если сопротивление пород кровли на сжатие $R_c \leq 35 \text{ МПа}$; $n_{\Pi} = 2,0$, если $35 < R_c \leq 80 \text{ МПа}$; $n_{\Pi} = 1,5$, если $R_c > 80 \text{ МПа}$. P_a – расчетная несущая способность анкера, кН (для сталеполлимерных анкеров 130 кН). Значение плотности установки анкеров в кровле не округляется

Продолжение таблицы 2.27

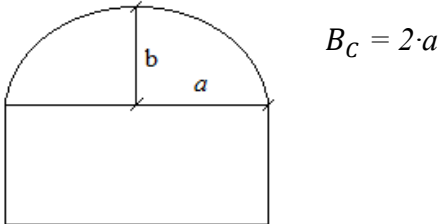
1	2	3
Расстояние между анкерами в ряду, a_a , м	$a_a = \sqrt{\frac{1}{\Pi_k}}$	Допускается округление в меньшую сторону
Количество анкеров в ряду в кровле выработки, n_k , шт	$n_k = \frac{B_C - 0,6}{a_a},$ для прямоугольной формы выработки	Рекомендуется округление в большую сторону
Количество анкеров в ряду в кровле выработки, n_k , шт	$n_k = \frac{B_C}{a_a},$ для арочной формы выработки	Рекомендуется округление в большую сторону  $B_C = 2 \cdot a$
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров) C_k , м	$C_k = \frac{n_k \cdot P_a}{(B_C - 0,6) \cdot (l_a - l_n) \cdot \gamma_k \cdot n_{\Pi}},$ для прямоугольной формы выработки	Допускается округление в меньшую сторону
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), C_k , м	$C_k = \frac{n_k \cdot P_a}{B_C \cdot (l_a - l_n) \cdot \gamma_k \cdot n_{\Pi}},$ для арочной формы выработки	Допускается округление в меньшую сторону

Таблица 2.28 – Определение высоты свода естественного равновесия, $\square_{\text{св}}$

Величина	Порядок расчета	Примечание
1	2	3
Условие устойчивости для боков горной выработки	$R_{\text{сy}} \geq K_B \cdot \gamma_k \cdot H$	$R_{\text{сy}}$ – расчетное сопротивление пород боков выработки на сжатие, МПа K_B – коэффициент концентрации давлений в боках для выработок, пройденных в массиве угля вне зоны опорного давления или при ширине целика более $0,1 \cdot H$ м, но не менее 30 м, принимается равным $K_B = 1,1 - 1,2$; для монтажных камер, отделенных от выработанного пространства целиком угля не более 15 м, также при расположении выработок в зоне опорного давления от очистных работ принимается равным $K_B = 1,5 - 2,0$; γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли на высоте $1,5 \cdot B_c$, МН/м ³ , для двухуровневой схемы анкерного крепления
		При соблюдении условия, крепления боков не требуется ($e_p = 0$)
		В противном случае, величина возможного разрушения боков горной выработки (e_p) принимается равной 0,6 – 0,8 м с каждой стороны
Величина возможного разрушения боков горной выработки, e_p , м	$e_p = \square \cdot tg\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right)$	Рассчитывается в случае, если отношение глубины проведения горной выработки от поверхности H , м к расчетному сопротивлению пород в кровле на одноосное сжатие R_c , находится в пределах от 25 до 30 МПа. h – высота горной выработки, м; φ – угол внутреннего трения пород (угля) в боках горной выработки, град для шахт Карагандинского угольного бассейна рекомендуется принимать 35 град
Высота свода естественного равновесия пород над горной выработкой, $\square_{\text{св}}$, м	$\square_{\text{св}} = k_{\text{св}} \cdot B_p$	$k_{\text{св}}$ – коэффициент свода естественного равновесия, определяемый по таблице 2.30; B_p – расчетная ширина горной выработки, с учетом возможного разрушения (отжима угля) боков выработки, м
Расчетная ширина горной выработки, с учетом возможного разрушения, B_p , м	$B_p = B_c + 2 \cdot e_p$	B_c – расчетная ширина выработки, м

Таблица 2.29 – Расчет параметров анкеров глубокого заложения

Величина	Порядок расчета	Примечание
1	2	3
Ожидаемое давление пород свода естественного равновесия на один погонный метр горной выработки со стороны кровли, $P_{св}$, кН/м	$P_{св} = \frac{2}{3} \cdot B_p \cdot \square_{св} \cdot \gamma_k$	γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли на высоте кровли $1,5 \cdot B_c$, МН/м ³ , для двухуровневой схемы анкерного крепления
Расчетное удельное давление пород свода естественного равновесия на анкеры глубокого заложения, $P_{св.у}$, кН/м ²	$P_{св.у} = \frac{P_{св}}{B_c}$	Расчетное удельное давление пород свода естественного равновесия на анкеры глубокого заложения $P_{св.у}$, кН/м ²
Ожидаемое удельное давление пород свода естественного равновесия на анкеры глубокого заложения, $P_{в.к.у}$, кН/м ²	$P_{в.к.у} = \frac{2 \cdot B_p}{3 \cdot B_c} \cdot \square_{св} \cdot \gamma_k \pm k_{р.в.н} \cdot l_г \cdot \gamma_k \cdot n_{II}$	$k_{р.в.н} \cdot l_г \cdot \gamma_k \cdot n_{II}$ – доля возведенного сопротивления анкеров первого уровня; $k_{р.в.н}$ – коэффициент разгрузки анкеров глубокого заложения за счет анкеров первого уровня; γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли для первого слагаемого определяется на высоте кровли $1,5 \cdot B_c$, для второго слагаемого на высоте – $0,5 \cdot B_c$ Знак «плюс» в выражении ставим в случае, если $(l_a - l_n) \leq l_г$ и знак «минус», если $(l_a - l_n) > l_г$
Коэффициент разгрузки анкеров глубокого заложения за счет анкеров первого уровня, $k_{р.в.н}$	$k_{р.в.н} = \frac{l_г + l_з}{\square_{св}}$	
Длина анкера глубокого заложения (канатного анкера), $l_{к.а}$	$l_{к.а} = h_{св} + l_з + l_в$	$l_з$ – длина закрепления анкера глубокого заложения выше контура свода естественного равновесия, принимается не менее 1 м; $l_в$ – выступающая внутрь горной выработки часть анкера, принимается 0,15–0,2 м. Полученная длина анкера округляется до 0,5 м в большую сторону

Продолжение таблицы 2.29

1	2	3
Плотность установки анкеров глубокого заложения $\Pi_{в.к}$ на м^2	$\Pi_{в.к} = \frac{P_{в.к.у}}{N_{к.а}}$	$N_{к.а}$ – несущая способность анкера глубокого заложения, кН. Рекомендуется округление в большую сторону
Расстояние между рядами анкеров глубокого заложения $C_{в.к.}$, м	$C_{в.к.} = C_k$	C_k – расстояние между рядами анкеров первого уровня. Анкера глубокого заложения устанавливают между рядами анкеров первого уровня
Количество анкеров глубокого заложения в ряду $n_{п.в.к.}$, шт.	$n_{п.в.к.} = B_c \cdot \Pi_{в.к} \cdot C_{в.к.}$	
Расстояние между анкерами глубокого заложения в рядах $C_{п.в.к.}$, м	$C_{п.в.к.} = \frac{B-2}{n_{п.в.к.}-1}$	2 – суммарное расстояние от крайних анкеров глубокого заложения до боков выработки, м. Допускается округление в меньшую сторону
Сопротивление анкеров глубокого заложения $P_{в.в.к.}$, кН/м ²	$P_{в.в.к.} = \frac{n_{п.в.к.} \cdot N_{к.а}}{C_{в.к.} \cdot B_c}$	
Общее сопротивление анкеров первого уровня и анкеров глубокого заложения	$P_{сум} = k_{п.в.к.} \cdot (l_a - l_n) \cdot \gamma_k \cdot n_{п.в.к.} + P_{в.в.к.}$	γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли на высоте кровли $0,5 \cdot B_c$, МН/м ³ , для анкеров первого уровня
Проверка надежности установленной анкерной крепи по условиям:	При несоблюдении вышеназванных условий необходимо увеличить количество канатных анкеров в их рядах	– суммарное сопротивление крепи $P_{сум}$ больше удельного давления пород свода $P_{св.у}$; – для предотвращения обрушения скрепленных анкерами первого уровня пород, их удельное давление $P_{о.н.}$, кН/м ² , должно быть меньше возведенного сопротивления канатных анкеров $P_{в.в.к.}$.
Удельное давление анкеров первого уровня $P_{о.н.}$, кН/м ²	$P_{о.н.} = (\square_{св} + l_3) \cdot \gamma_k$	γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли на высоте кровли $0,5 \cdot B_c$, МН/м ³ , для анкеров первого уровня
Параметры первого уровня		Определяются в соответствии с таблицей 2.26

Таблица 2.30 – Значения коэффициента свода естественного равновесия $k_{св}$

Прочность пород на одноосное сжатие $R_{ск}$, МПа	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
$k_{св}$	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3

Промежуточные значения коэффициента $k_{св}$ вычисляются интерполированием

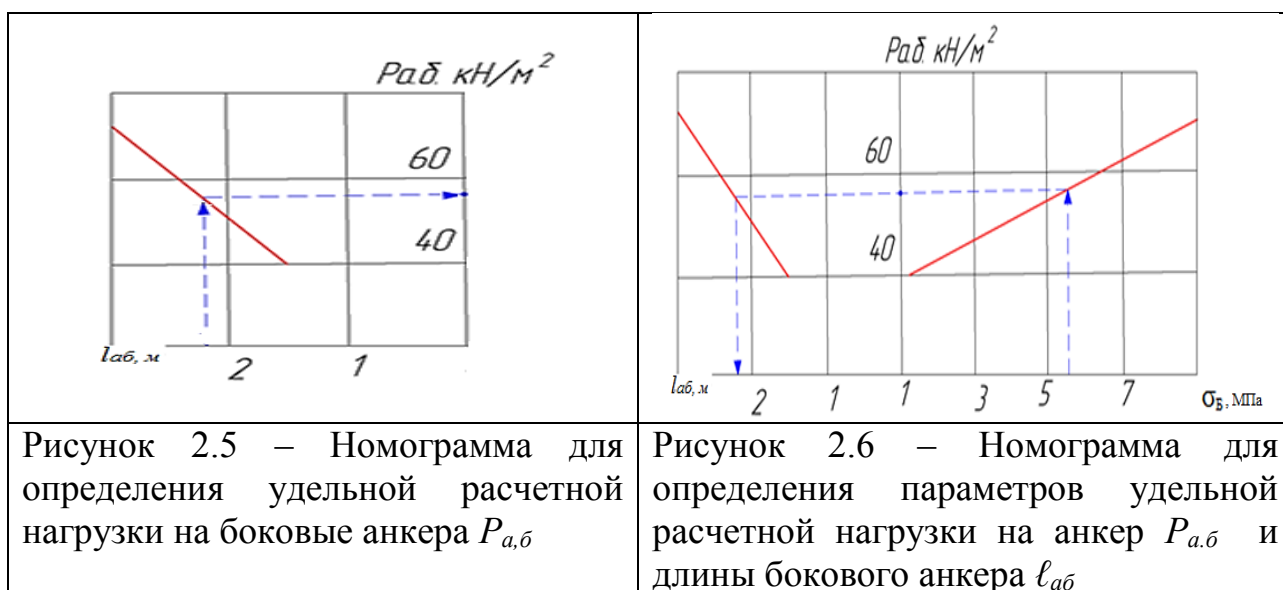


Таблица 2.31 – Определение параметров рамной металлоарочной крепи

Параметр	Методика	Примечание
1	2	3
Плотность установки рам n , рам/м	$n = \frac{(l_a - l_n) \cdot \gamma_k \cdot B_c}{N}$	N – сопротивление рамной крепи, кН/м; γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли пределах зоны обрушения пород (на высоте кровли $0,5 \cdot B_c$), МН/м³.
Плотность установки рамной крепи при комбинированном виде крепи	$N = n \cdot \psi$	ψ – поправочный коэффициент, учитывающий уменьшения плотности установки рамной крепи при наличии анкерного крепления с учетом класса пород по устойчивости; принимается: 0,5 – для песчаника; 0,56 – для алевролитов; 0,61 – для аргиллитов; 0,66 – для угля.

Таблица 2.32 – Расчет параметров анкерной крепи в боках горных выработок

Величина	Расчет	Примечание
1	2	3
Расчетное сопротивление слоев пласта и пород в боках на одноосное сжатие $R_{сб}$, МПа	$R_{сб} = \frac{(R_{с1} \cdot m_1 \cdot k_{вл1} + \dots + R_{сn} \cdot m_n \cdot k_{влn}) \cdot k_c}{h}$ $R_{с1} \dots R_{сn}$ – сопротивление сжатию слоев пород, МПа, при определении прочности пород по коэффициенту крепости f пересчет в МПа проводят по формуле $R = 10 \cdot f$;	$m_1, \dots, m_n$ – мощности слоев пород, залегающих в боках горной выработки, м; $k_{вл}$ – коэффициент, учитывающий нарушенность массива пород поверхностями без сцепления либо с малой связностью. k_c – коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность боков выработки трещиноватостью, принимается равным 0,9 для I и II типов кровли, 0,6 – для III типа кровли; $k_{вл}$ – коэффициент снижения сопротивления пород сжатию за счет воздействия влаги. Для шахт Карагандинского угольного бассейна представлен в таблице 2.9.
Степень относительной напряженности пород и пласта, σ_B	$\sigma_B = \frac{K_B \cdot K_{вл} \cdot K_0 \cdot \gamma_k \cdot H}{R_{сб}}$	γ_k – средний объемный вес пород в боках выработки (средневзвешенное значение), т/м³; H – глубина заложения выработки от поверхности, м; K_B – коэффициент концентрации давлений в боках от проходки выработок, принимаемый для выработок – 1,5 при самостоятельной схеме анкерного крепления; $K_{вл}$ – коэффициент увеличения напряжений в боках выработок от других выработок; K_0 – коэффициент увеличения напряжений в боках выработок при расположении их в зоне опорного давления от очистных работ.
	$\sigma_B = \frac{K_B \cdot K_{вл} \cdot K_0 \cdot \gamma_k \cdot H}{R_{сб}min}$	$R_{сб}min$ – наиболее слабый слой пород и угля в боках выработки.

Продолжение таблицы 2.32

1	2	3
Выбор несущей способности анкеров в боках	$\sigma_B < 1$	Если условие выполняется, то крепление боков выработки анкерной крепью предусматривается с несущей способностью анкеров не менее 80 кН.
Коэффициент увеличения напряжений в боках выработок от других выработок, $K_{вл}$	$K_{вл} = 2 - \frac{\ell_{ц}}{15},$	Определяется при расстоянии до влияющей горной выработки при $\ell_{ц} < 15$ м, при $\ell_{ц} \geq 15$ м $K_{вл} = 1$; $\ell_{ц}$ – фактическая ширина целика, м.
Коэффициент увеличения напряжений в боках выработок, K_0 , при расположении выработок в зоне влияния опорного давления от очистных работ	$K_0 = 1 + \frac{(K_{0\max} - 1) \cdot (0,1 \cdot H - \ell_{ц})}{0,1 \cdot H}$	$K_{0\max}$ – максимальное значение коэффициента увеличения напряжений в боках выработок и сопряжений при расположении их в зоне влияния опорного давления от очистных работ, принимается равным: – 2, при III типе кровли; – 3, при I и II типах кровли.
Длина анкера в боках $\ell_{аб}$, м	$\ell_{аб} = h \cdot tg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$	φ – угол внутреннего трения угля в боках выработки, град, для шахт Карагандинского угольного бассейна рекомендуется принимать 35 град.
Удельная расчетная нагрузка на боковые анкера $P_{аб}, \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$	Определяется по номограмме (рисунок 2.5)	В условиях, где напряжения в боках превышают среднее расчетное сопротивление сжатию пласта (или всех расположенных в боках слоев пород и угля) по номограмме – рисунок 2.6.
Расстояние между анкерами в боках a_a , м	$a_a = \sqrt{\frac{P_a}{P_{аб}}}$	где P_a – несущая способность боковых анкеров, кН (рекомендуются анкера для боков выработки с $P_a = 100$ кН).
Количество анкеров в ряду в боках n_k , шт.	$n_k = \frac{h-1}{a_a}$	Установка нижнего ряда боковых анкеров производится на расстоянии 1 метра от почвы выработки.

Таблица 2.33 – Поправочные коэффициенты условий эксплуатации

Поправочные коэффициенты	Значения	Примечание
K_B – коэффициент концентрации давления в боках выработки	Одноуровневое крепление – 1,5; Сопряжения с пересекающимися выработками – 2,0; Сопряжения с примыканием одной выработками – 1,85	таблица 2.29
K_c – учитывает дополнительную нарушенность кровли трещиноватостью	I тип кровли – 0,9; II тип кровли – 0,9; III тип кровли – 0,6	таблица 2.9
K_a – учитывает расположение выработок	1 – штрек, уклон, бремсберг, сопряжения, камеры; 0,7 –квершлага, равным	таблица 2.11
K_a – учитывает степень связывания и упрочнения пород сталеполимерными анкерами	длины закрепления стержня анкера в скважине (шпуре) скрепляющим составом: 0,5 м – 1,0; 1 м 0,85; по всей длине – 0,75	таблица 2.12
K_k – учитывает обрушаемость основной кровли	I тип кровли – 1,0; II тип кровли – 1,2; III тип кровли – 1,3	таблица 2.14
n_{II} – коэффициент пригрузки (направлен на определение давления, испытываемого нижним слоем породы кровли со стороны вышележащих слоев)	$n_{II} = 2,5$, если сопротивление пород кровли на сжатие $R_c \leq 35\text{МПа}$; $n_{II} = 2,0$, если $35 < R_c \leq 80\text{МПа}$; $n_{II} = 1,5$, если $R_c > 80\text{МПа}$	таблица 2.27

Таблица 2.34 – Рекомендуемые параметры анкерной крепи

Параметры	Значения	Примечание
ℓ_n – длина, выступающей из шпура, части анкера	0,1 – 0,2 м	таблица 2.27
ℓ_z – величина заглубления короткого анкера в устойчивую зону массива	0,3 – 0,5 м	таблица 2.27
l_3 – длина закрепления анкера глубокого заложения выше контура свода естественного равновесия	не менее 1 м	таблица 2.29
l_b – выступающая внутрь горной выработки часть анкера глубокого заложения	0,15 – 0,2 м.	таблица 2.29
P_a – расчетная несущая способность анкера	100 – 130 кН	таблица 2.32
P_a – расчетная несущая способность боковых анкеров	80 –100 кН	таблица 2.32
Установка нижнего ряда боковых анкеров	1 метр от почвы выработки	таблица 2.32

2.3.6 Корректировка порядка расчета анкерного крепления горных выработок

При расчете одно-, двухуровневой, комбинированной технологий анкерного крепления для условий эксплуатации Карагандинского угольного бассейна был уточнен порядок расчета параметров анкерной крепи, представленный в таблице 2.35.

Таблица 2.35 – Расчет анкерного крепления для условий эксплуатации Карагандинского бассейна

№	Скорректированный порядок расчета	Исходный порядок/Примечание
1	2	3
1.	Для создания единой несущей балки анкерами длиной 2,4 м (короткими анкерами) расчетная мощность пород кровли выработки принимается равной $0,5 \cdot B_c$	На глубине выработки, Н
2.	При большой мощности слабых пород для подшивания созданной балки к крепким породам с помощью длинных анкеров (длиной 3,5 и более), расчетная мощность пород кровли выработки принимается равной $1,5 \cdot B_c$	На глубине выработки, Н
3.	Длина анкера (ℓ_a) первого уровня принимается равной 2,4 м, даже, если высота свода обрушения пород кровли (ℓ_b) меньше 2,4 м	Всегда принимается $\ell_a = \ell_b + \ell_z + \ell_n$, т.е. не увеличивали до 2,4 м
4.	При расчете нижеследующих величин, используется мощность закрепленного слоя пород кровли на длину анкера первого уровня, закрепленного в кровле ($\ell_a - \ell_n$): – плотность (P_k) установки анкеров первого уровня в кровле; – шаг установки анкерной крепи (C_k); – коэффициент разгрузки ($k_{p.v.n}$) анкеров глубокого заложения за счет анкеров первого уровня; – плотность установки рам (n) при комбинированно схеме крепления	Во всех формулах используется значение ℓ_a – длина анкера. ℓ_n – длина, выступающей из шпура, части анкера, м. ℓ_a – длина анкера, м
5.	При расчете количества анкеров n_k в ряду кровли выработки, при прямоугольной форме выработки, от каждого края выработки отступается на 0,3 м, ввиду того, что на практике анкера, установленные в данном месте выработки не «держатся»	Не отступается
6.	Количество анкеров n_k в ряду кровли выработки, при арочной форме выработки, определяется по вертикальной составляющей давления пород кровли на выработку, т.е. не по периметру свода, а по ширине выработки, т.е. 0,3 м от края выработки не отступается	Расчет совпадает

Продолжение таблицы 2.35

1	2	3
7.	При расчете ожидаемого удельного давления пород свода естественного равновесия ($P_{в.к.у}$) на анкеры глубокого заложения, за счет разгрузки анкеров первого уровня, знак «плюс» в выражении расчета (таблица 2.28) ставится в случае, если $(l_a - l_n) \leq l_b$ и знак «минус», если $(l_a - l_n) > l_b$	Не описан порядок расчета
8.	Значение угла внутреннего трения в породах выработки для шахт Карагандинского угольного бассейна принимается 35 град	Принимается с запасом, 60 град
9.	Суммарное расстояние от крайних анкеров глубокого заложения до боков выработки рекомендуется принимать 2 м, для надежного закрепления их в кровле выработки, см. таблицу 2.29	Не описан порядок расчета
10.	Поправочный коэффициент (ψ), учитывающий уменьшения плотности установки рамной крепи при наличии анкерного крепления, с учетом класса пород по устойчивости, принимается: 0,5 – для песчаника; 0,56 – для алевролитов; 0,61 – для аргиллитов; 0,66 – для угля	Не описан порядок расчета

Выводы по второму разделу

– Разработана структурная схема расчета параметров технологии анкерного крепления подготовительных горных выработок для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

– структурная схема регламентирует порядок расчета параметров крепи при разработке паспортов крепления для одноуровневой, двухуровневой, комбинированной технологий анкерного крепления;

– определены условия применения одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления для условий эксплуатации Карагандинского угольного бассейна, в зависимости от глубины заложения выработки (h), сопротивления пород на сжатие (R_c), смещения пород кровли (U_M), прочности вмещающих пород;

– при расчете параметров одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления учтены поправочные коэффициенты, влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

– уточнен порядок расчета плотности (Π_k) установки анкеров первого уровня в кровле, шага установки анкерной крепи (C_k), коэффициента разгрузки ($k_{р.в.н}$) анкеров глубокого заложения, плотности установки рам (n) при комбинированном креплении.

3. Разработка методики автоматизированного расчета анкерного крепления

Анализ состояния протяженных горных выработок Карагандинского угольного бассейна показывал, что наиболее эффективными способами поддержания горных выработок, обеспечивающих устойчивость подготовительных выработок при бесцеликовой отработке для существующих горно-геологических условий угольных шахт Карагандинского бассейна являются: самостоятельное анкерное крепление; двухуровневое канатного анкерное крепление и комбинированное анкерное крепление (анкер+рама).

При использовании анкерной крепи перед техническими службами предприятий становится задача оперативной оценки условий применения и расчета параметров анкерной крепи в изменяющихся горно-геологических и горно-технологических условиях эксплуатации, влияния осложняющих факторов и схем развития подземных горных выработок.

«Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна» [55, с. 3], 2008 г, является весьма объёмным документом, содержит множество условий, расчётных положений, номограмм.

Данный нормативный документ требует от специалистов шахт и проектных институтов, связанных с проектированием крепи горных выработок, тщательного изучения всех особенностей применения анкерной крепи, знания основных положений инструкции, умения правильно выбирать конструкции элементов анкерной крепи в зависимости от изменяющихся горно-геологических и горно-технологических условий ведения горных работ.

Всё это делает процесс расчета анкерного крепления сложным как технически, так и трудоемким, который требует от инженерно-технических работников угольных предприятий предельной концентрации внимания, знания множества условий и ограничений, внушительных затрат времени, что не исключает технических ошибок в расчетах, связанных с так называемым «человеческим» фактором.

В связи с этим процесс автоматизации расчета параметров анкерного крепления является актуальной и востребованной задачей. Кроме этого назрела необходимость иметь такую методику автоматизации расчета, которое кроме того, что повышает точность и качества проектных решений за счет выполнения расчёта на всех этапах в строгом соответствии с установленным порядком, нормативными документами, но еще оно должно иметь возможность учета накопленного опыта анкерного крепления горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна и шахтах ближнего и дальнего зарубежья, выражающее в значениях поправочных коэффициентов алгоритма, которые могут уточняться и корректироваться по результатам производственных наблюдений, а также в процессе консультационно-методического сопровождения паспортов крепления горных выработок.

Целью данной работы является разработка методики автоматизированного расчета анкерного крепления, реализованной в формате компьютерной

программы [95-102], позволяющей снизить временные затраты на расчет параметров анкерного крепления подготовительных выработок, различного технологического назначения, выбирать наиболее рациональные схемы крепления и повысить эффективность работ, проводимых на шахтах Карагандинского угольного бассейна.

Под рациональной технологической схемой подразумевается наиболее оптимальное сочетание (синтез) элементов (процессов) подсистемы, обеспечивающие минимальные трудовые и материальные затраты на их функционирование, т.е. методики автоматизированного расчета обеспечивает:

- выбор схемы и расчёта параметров анкерного крепления, что позволяет значительно сократить время для составления технической документации по креплению горных выработок;
- повышение точности выполняемых расчетов и качества проектных решений.

Разработанная компьютерная программа Anker 2019, реализующая методику автоматизированного расчета анкерного крепления, предназначена для разработки паспортов анкерного крепления выработок с учетом:

- геомеханического состояния массива,
 - схем развития горных работ,
- при применении сталеполимерных и канатных анкеров.

Разрабатываемая программа предназначена для использования при проектировании и производстве работ по возведению анкерной крепи в течение всего срока службы выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, включая зоны интенсивного повышенного горного давления, в выработках, пройденных по углю, в слабых трещиноватых породах, на ударо- и выбросоопасных пластах, на подработанных и надработанных участках шахтных полей.

Разработанная программа создана на основе разработанной структурной схемы расчета параметров анкерного крепления в разделе 2, адаптированной к условиям эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна и регламентирующей расчет параметров при проектировании, разработке паспортов анкерного крепления.

Для того чтобы можно было в программе по линиям номограмм определить смещения пород подземных горных выработок, необходимо произвести их аппроксимацию. Для аппроксимации существуют различные методы, использование которых зависит от графика и необходимой точности.

3.1 Аппроксимация номограмм смещений пород подземных горных выработок

Расчет параметров и обоснование анкерной крепи проводится в зависимости от *интенсивности* горного давления, определяемого с учетом размеров и глубины расположения горных выработок и сопряжений от поверхности, способа и параметров их охраны от влияния очистных работ, прочности,

трещиноватости и устойчивости пород кровли. В качестве критерия интенсивности горного давления для расчета анкерных крепей принимаются расчетные *смещения пород кровли* подземных горных выработок (см. раздел 2.3).

Номограммы определения расчетных смещений кровли для сопряжений и различных категорий протяженных горных выработок представляют собой линии (рисунок 3.1), по которым технологические службы «вручную» определяют значения смещений, что приводит к неточности, а иногда и к грубым ошибкам, связанные с человеческим фактором.

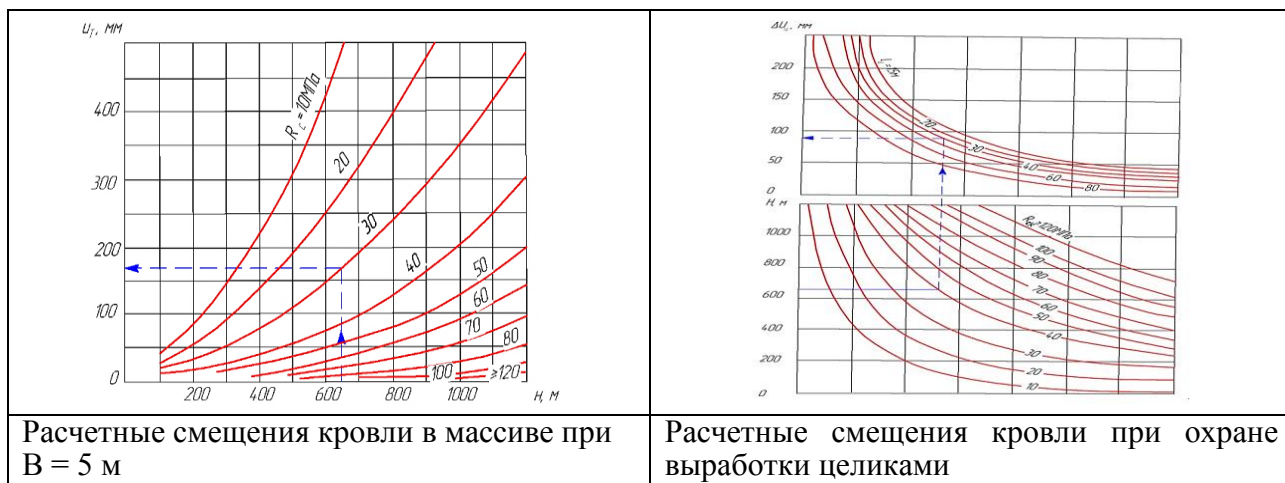


Рисунок 3.1 – Номограммы определения смещений кровли

3.1.1 Методы аппроксимации номограмм

Первоначально линии номограмм представляются в виде таблиц. Однако табличные данные не имеют наглядности и не могут быть использованы в математических моделях автоматизации выбора способов крепления и расчета параметров анкерных технологий крепления.

Указанные недостатки лишены эмпирические формулы, отражающие приближенно с определенным уровнем достоверности зависимость между изучаемыми величинами и параметрами.

Таким образом, математическая обработка данных состоит в выборе эмпирической формулы, графическое изображение которой согласуется с размещением экспериментальных точек на координатной сетке [92-94].

Задачей математической обработки является определение числовых значений входящих в формулу параметров. В большинстве случаев зависимость между переменными можно задать множеством эмпирических формул и только глубокое знание физической сущности изучаемого процесса позволяет остановиться на одной из них. Метод подбора числовых значений, входящих в формулу параметров основан на принципе наименьших квадратов. Сущность метода состоит в том, что из множества возможных эмпирических зависимостей, тип которых уже определен $y=f(x)$ выбирается та, для которой сумма квадратов отклонений, замеряемых по оси y является наименьшей.

Впервые этот метод предложил Гаусс.

Метод квадратичной аппроксимации. Данный метод относится к семейству методов полиномиальной аппроксимации. Идея метода полиномиальной аппроксимации состоит в том, что в некоторой окрестности минимума функции, она аппроксимируется полиномом достаточно высокого порядка и в качестве точки минимума функции (или в качестве очередного приближения к этой точке) принимается точка минимума аппроксимирующего полинома. В силу того, что аппроксимирующая функция является полиномом, этот минимум находится легко. В качестве аппроксимирующих полиномов чаще всего используются полиномы второго и третьего порядков, т.е. квадратичная и кубическая аппроксимации.

Аппроксимация с использованием программ Graph Grabber и Excel Для того чтобы аппроксимировать линию на графике, необходимо иметь ее представление в табличной форме (в виде чисел x и y). Для этого с помощью программы Graph Grabber, обозначаются пределы координат x и y , по точкам нарисован поверх рисунка линии на номограмме, и экспортируются полученные данные в csv файл. На рисунке 3.2, показано окно программы *Graph Grabber* с несколькими обозначенными линиями и системой координат.

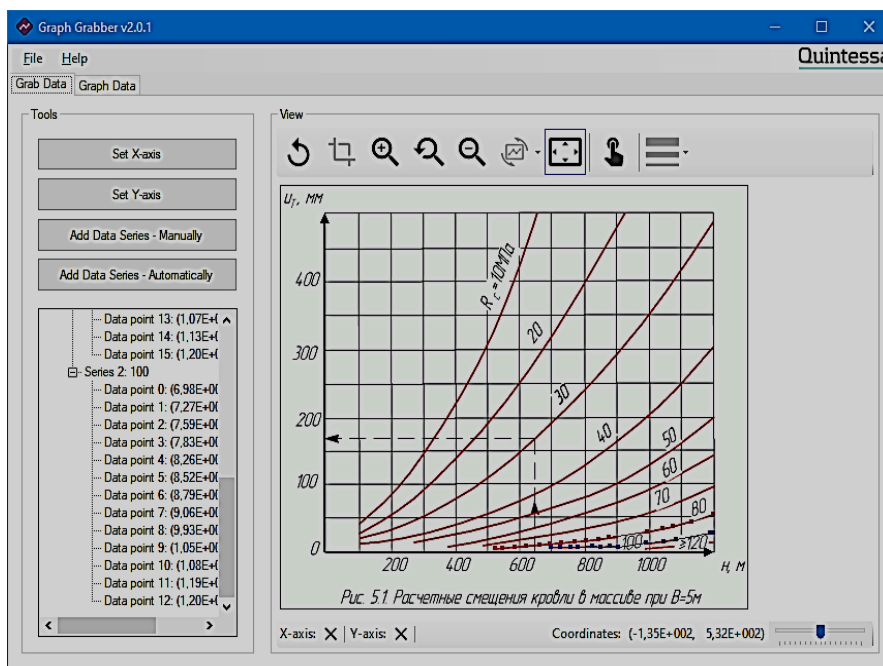


Рисунок 3.2 – Окно программы *Graph Grabber*

Тот же график без наложенной номограммы выглядит следующим образом, как показано на рисунке 3.3.

После того как графики успешно созданы, и данные точек экспортированы, в программе Excel строятся графики на основе этих точек. Для того чтобы правильно выбрать нужную функцию, накладывается линия тренда, и исходя из процента совпадения этой линии с линией на графике, выбирается функция. На рисунке 3.4, показан график в программе Excel, с линией тренда

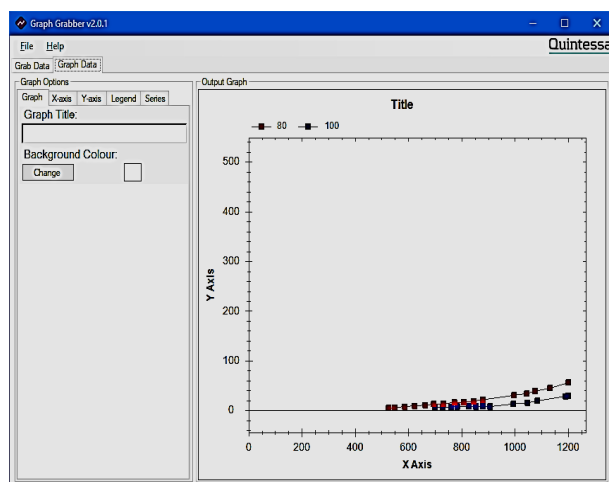


Рисунок 3.3 – График, построенный в программе *Graph Grabber*

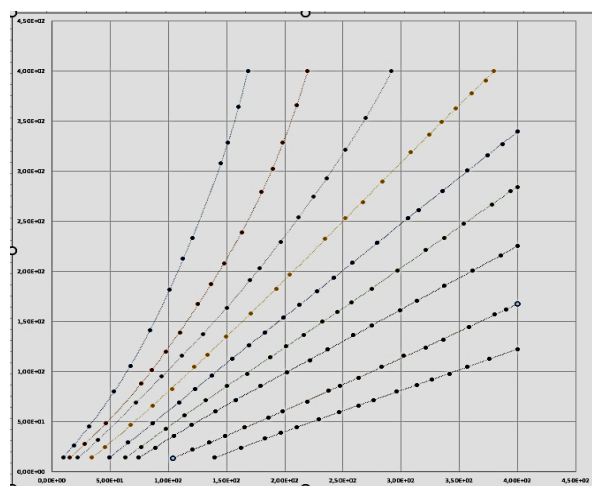


Рисунок 3.4 – Точечный график в программе *Excel* с линией тренда

3.1.2 Исследование погрешности (достоверности) уравнений аппроксимации

Рассмотрим полученные уравнения аппроксимирования линий номограмм определения расчетных смещений пород подземных горных выработок на предмет значения процента погрешности и эффективности используемых методов и функций аппроксимации.

Погрешность аппроксимации – величина, характеризующая различие между уравнениями для точного и для разностного решений. Погрешность измерения – отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения.

Пластовые выработки, проводимые в массиве и охраняемые за лавой целиком $0,1 \cdot H > \ell_y > 15$ м, а затем погашаемые за смежной лавой.

Номограмма определения расчетных смещений кровли ($\Delta U_{\text{ц}}$) в зоне погашаемой лавы представлена на рисунке 3.5.

Уравнения аппроксимаций линий номограмм, для выработок данного вида, описаны в таблице 3.1 и таблице 3.2.

В данной номограмме использовалась как гиперболическая функция, так и полиномиальная различных степеней (4 и 3 степень).

Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации представлены в таблице 3.3.

В Приложении Ж приведены разработанные уравнения аппроксимации и результаты их исследования на достоверность полученных уравнений аппроксимации для выработок вида:

– выработки, проводимые в массиве и поддерживаемые в продолжении всего срока службы вне зоны влияния очистных работ;

- выработки и сопряжения, проводимые в массиве, а затем поддерживаемые в зоне влияния очистных работ;
- пластовые выработки, проводимые в массиве и охраняемые за лавой целиком $0,1 \cdot H > l_{\text{ц}} > 15$ м, а затем погашаемые за смежной лавой;
- пластовые выработки, проводимые в массиве и погашаемые за лавой;
- пластовые выработки, проводимые вприсечку к выработанному пространству;
- пластовые выработки, проводимые вприсечку к выработанному пространству в период влияния погашающей лавы.

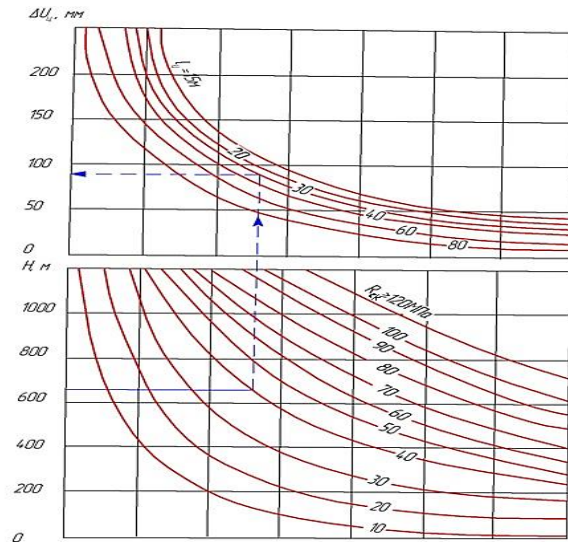


Рисунок 3.5 – Расчетные смещения кровли в зоне погашаемой лавы

Таблица 3.1 – Уравнения аппроксимации линий номограмм $R_{\text{СК}}=f(H)$

$R_{\text{СК}}$	X – значение координаты x
10	$X = 0,323 / (\ln(1,004 + 7,325 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10,0))) \cdot H)$
20	$X = 3,029 / (\ln(1,001 + 4,848 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10,0))) \cdot H)$
30	$X = (1,33 \cdot \exp(-6 \cdot \ln(10,0))) / (\ln(1,0 + 1,236 \cdot \exp(-10,0 \cdot \ln(10,0))) \cdot H)$
40	$X = (2,674 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10,0))) / (\ln(1,0 + 1,658 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10,0))) \cdot H)$
50	$X = 1,495 \cdot \exp(-10,0 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H \cdot H \cdot H - 5,327 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 7,27 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H - 0,488 \cdot H + 162,081$
60	$X = 6,929 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H \cdot H \cdot H - 2,952 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 4,758 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H - 0,381 \cdot H + 154,242$
70	$X = 2,046 \cdot \exp(-10,0 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H \cdot H \cdot H - 7,182 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 9,533 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H - 0,625 \cdot H + 207,759$
80	$X = 165,856 \cdot \exp(-1,752 \cdot \exp(-3 \cdot \ln(10,0))) \cdot H$
100	$X = 4,145 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H - 0,148 \cdot H + 145,575$
≥ 120	$X = 4,463 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10,0)) \cdot H \cdot H - 0,16 \cdot H + 161,164$

Примечание. $R_{\text{СК}}$ – сопротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа.

Таблица 3.2 – Уравнения аппроксимации линий номограмм $\Delta U_{\text{ц}} = f(R_{\text{СК}})$

$l_{\text{ц}}$ – охрана целиком, м	$\Delta U_{\text{ц}}$ – расчетные смещения кровли в зоне погашаемой лавы, мм
15	$\Delta U_{\text{ц}} = 35,35 / (\ln(0,928 + 0,019 \cdot X))$
20	$\Delta U_{\text{ц}} = 5,038 / (\ln(0,999 + 2,16 \cdot \exp(-3 \cdot \ln(10,0)) \cdot X))$
30	$\Delta U_{\text{ц}} = 1,025 / (\ln(1 + 4,592 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10,0)) \cdot X))$
40	$\Delta U_{\text{ц}} = (1,64 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10,0))) / (\ln(1 + 8,536 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10,0)) \cdot X))$
60	$\Delta U_{\text{ц}} = -2,078 \cdot \exp(-3 \cdot \ln(10,0)) \cdot X \cdot X \cdot X + 0,319 \cdot X \cdot X - 16,237 \cdot X + +301,032$
80	$\Delta U_{\text{ц}} = 0,173 \cdot X + 294,491 \cdot \exp(-0,087 \cdot X)$

Таблица 3.3 – Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации для выработок вида III

$R_{\text{с}}$, сопротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа	H , высота выработки, м	$l_{\text{ц}}$, охрана целиком, м	U_1 , значение смещения по номограмме, мм	U_2 , значение смещения по уравнению аппроксимации, мм	Абсолютная погрешность $ (U_1 - U_2) $, мм	Относительная погрешность $ (U_1 - U_2) /U_1 \cdot 100$, %
10	280	40	27,27	26,19	1,08	3,96%
20	400	40	27,27	26,41	0,86	3,15%
30	400	15	38,65	37,56	1,09	2,82%
40	800	40	27,27	27,48	0,21	0,77%
50	1000	40	27,27	27,19	0,08	0,29%
60	1200	40	27,27	26,94	0,33	1,21%
70	609,9	15	20,49	20,09	0,40	1,95%
80	836,36	30	15,89	15,63	0,26	1,63%
90	945,46	15	27,73	27,42	0,31	1,11%
100	1118,19	15	27,73	27,51	0,22	0,79%
≥ 120	1027,27	20	15,95	16,64	0,69	4,32%
Среднее значение					0.50	2%

Выводы:

– исходя из результата исследования достоверности полученных уравнений аппроксимации номограмм расчетных смещений кровли, полученная абсолютная погрешность расчетных смещений кровли составляет 0.5 – 1 мм, относительная погрешность 2 – 5 %;

– величина процента погрешности является следствием «человеческого» фактора при выборе экспериментальных данных – точек на номограмме.

3.2 Методика автоматизированного расчета анкерного крепления

Порядок управления выработками, структурная схема, модель данных методики автоматизированного выбора схемы и расчета параметров анкерного крепления представлена, соответственно, на рисунках 3.6, 3.7, 3.8. Алгоритм работы представлен на рисунках 3.9.

Состоит из следующих модулей:

- *модуль справочных данных, включающий* (Приложение 3):
 - свойства литологических данных пород промышленных районов Карагандинского угольного бассейна;
 - коэффициенты расчета;
 - формулы расчета;
 - критерии выбора вида крепи,

особенностью справочных данных, является то, что возможна их настройка (корректировка) значений в ходе анализа накопленного опыта, изменения нормативных документов.

– *модуль подключения карты местности.* Предназначен для визуализации местонахождения на карте местности шахт угольного бассейна. Данная функциональность носит информационный характер. Подключается Интернет-карта, ввиду этого, на момент реализации данной функциональности, необходимо чтобы рабочее место было подключено к Интернету;

– *модуль создания, выбора, редактирования, удаления объекта «Шахта»* (рисунок 3.10);

– *модуль создания, выбора, редактирования, удаления объекта «Горная выработка»* (рисунки 3.11 – 3.14);

– *модуль расчета и формирования паспорта крепления* (рисунки 3.15– 3.17);

– *модуль экспорта данных в Excel* (рисунок 3.18).

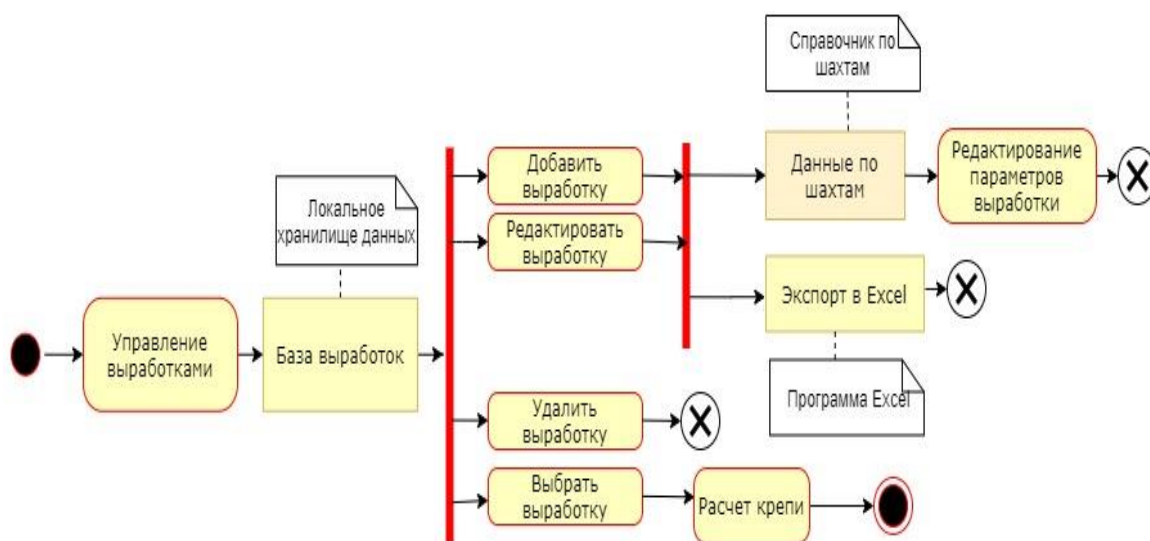


Рисунок 3.6 – Порядок управления вводом данных по выработкам

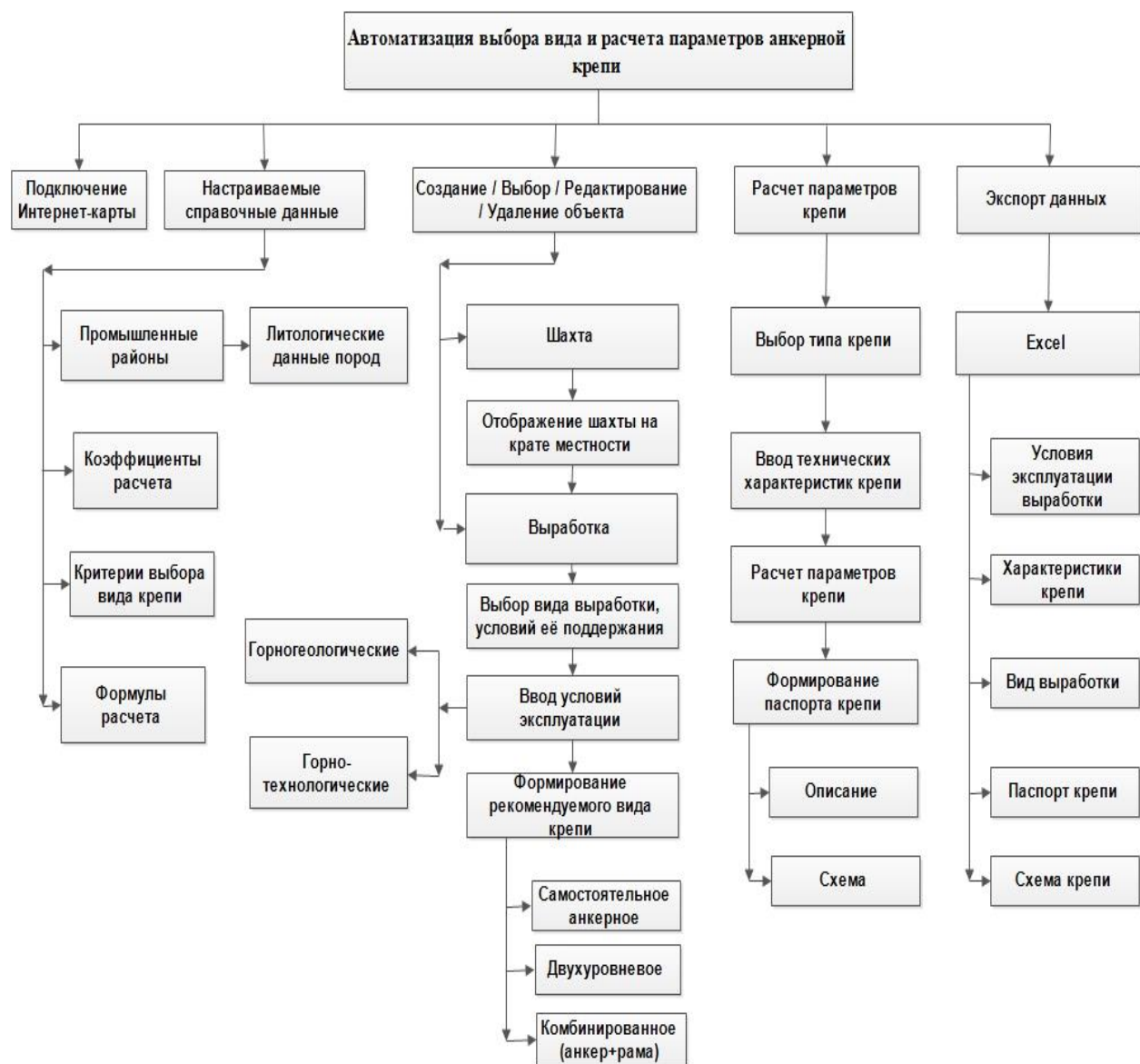


Рисунок 3.7 – Структурная схема методики автоматизированного расчета параметров анкерного крепления

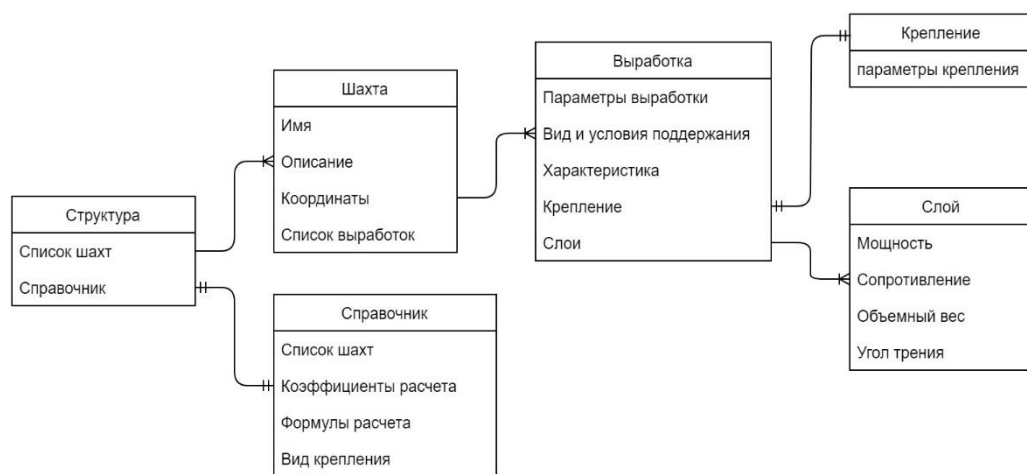


Рисунок 3.8 – Модель данных

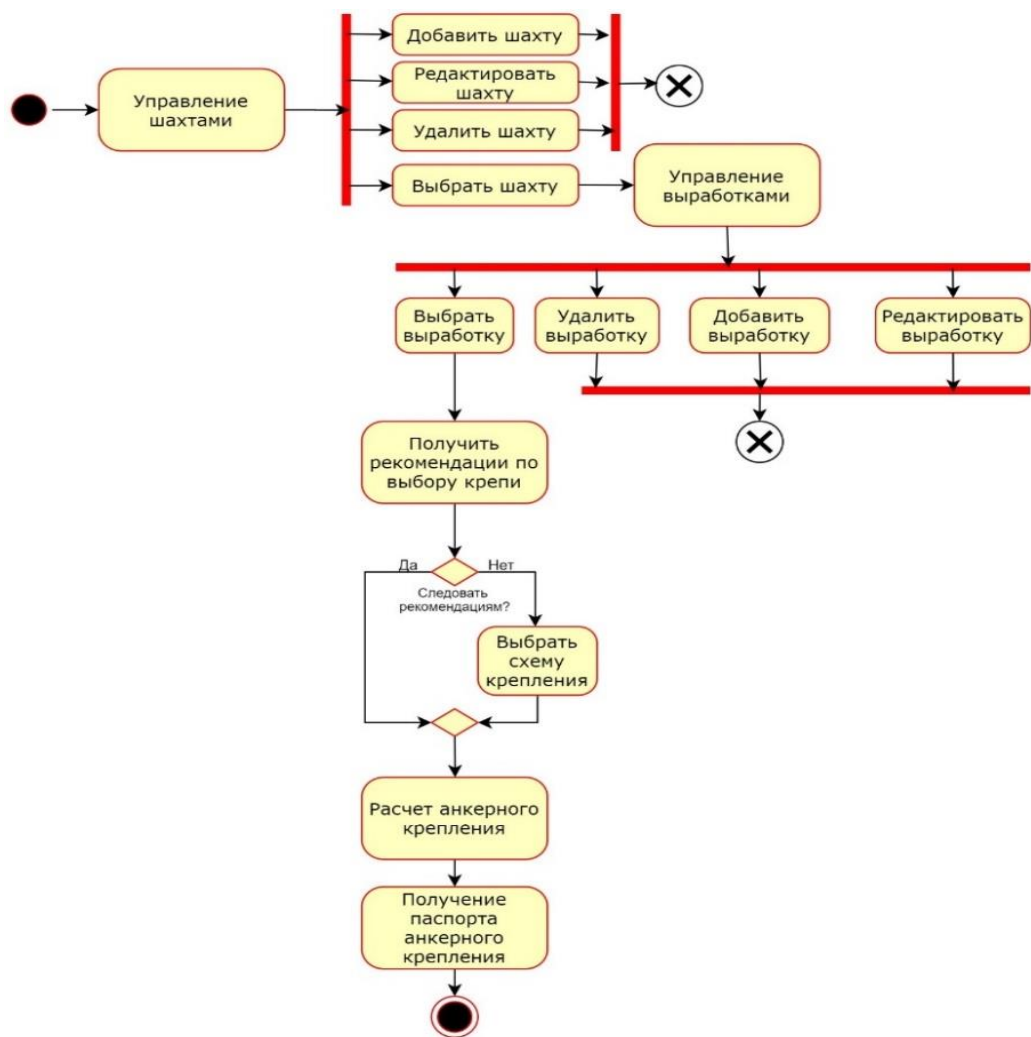


Рисунок 3.9 – Порядок выбора схемы и расчета параметров анкерного крепления

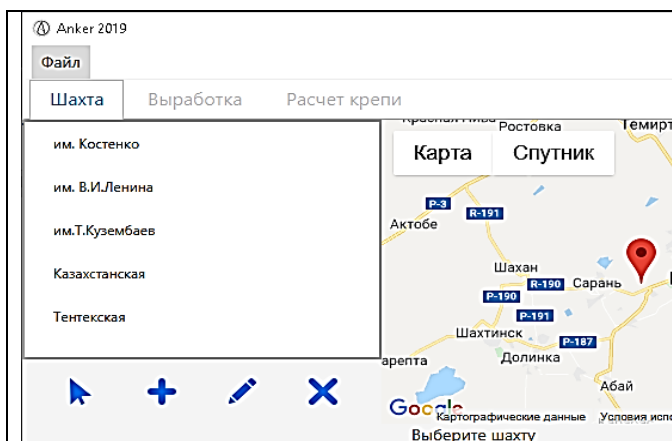


Рисунок 3.10 – Определение шахт

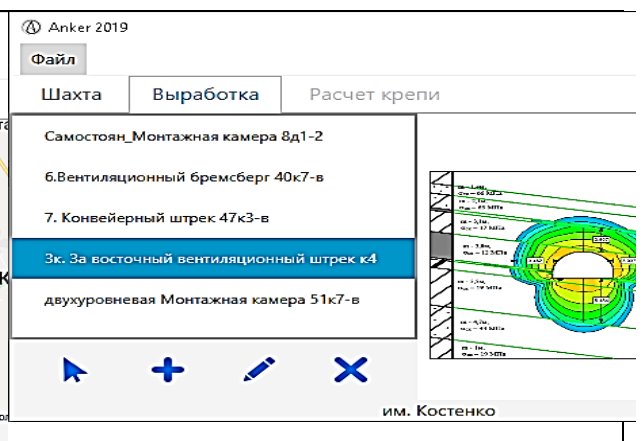


Рисунок 3.11 – Определение горных выработок

Форма поперечного сечения	Прямоу... ▾	Ширина целика	19.0
Расстояние от влияющего пласта до горной выработки в кровле	50.0	Степень связывания и упрочнения пород (м)	По всей... ▾

лм] Проводимых в массиве и поддерживаемых в продолжение всего срока службы вне зоны влияния очистных работ

лц] Проводимых в массиве, а затем поддерживаемых в зоне влияния очистных работ

лц] В пластовых выработках, проводимых в массиве и охраняемых за лавой целиком $0,1H > l_{ц} > 15$ м, а затем погашаемых за смежной лавой

лп] В пластовых выработках, проводимых в массиве и погашаемых за лавой

лп] В пластовых выработках, проводимых в массиве, а затем охраняемых разрушающимся в выработанном пространстве целиком шириной

лпр] В пластовых выработках проводимых в прическу к выработанному пространству

лм*К) В зонах ППГД в условиях с подрабатываемым пластом

лм*К) В зонах ППГД в условиях с надрабатываемым пластом

[Um] Проводимых в массиве и поддерживаемых в продолжение всего срока службы вн... ▾

Рисунок 3.12 – Выбор вида и условий поддержания выработки

Параметры выработки

Исходные данные Горно геологические характеристики

Параметры выработки

Наименование выработки	Самостоян_Мот	Расположение выработки	штреки,... ▾
Ширина выработки	6.0	Воздействие других выработок	Одиноч... ▾
Высота выработки	2.9	Влияние других смежных выработок на расстоянии, м	0.0
Полупролет выработки по ее ширине, м	3.0	Ширина взаимовлияющей выработки, м	0.0
Глубина выработки	200.0	Путь к изображению выработки	C:\Users\Томилк ...
Форма поперечного сечения	Прямоу... ▾	Ширина целика	19.0
Расстояние от влияющего пласта до горной выработки в кровле	50.0	Степень связывания и упрочнения пород (м)	По всей... ▾
Содержание песчаника в породах междупластья, %	20.0	Коэффициент концентрации давления для горных выработок	1.2

Экспорт в Excel Режим справки Сохранить Отмена

Рисунок 3.13 – Определение характеристик условий эксплуатации выработки

Параметры выработки

Исходные данные Горно геологические характеристики

Характеристика

Тип кровли по обрушаемости: 1 тип кровли

Охрана целиком [$0.1H > L_c > 15 \text{ м}$, $L_c(\text{м})$]: 15.0

Коэффициент концентрации напряжений в боках (Кв): 1.5

Расположение слоев пород

В кровле

Редактор слоев

Слой: Аргиллит

Мощность, М:

Рс слоя, МПа:

Коэффициент снижения:

Экспорт в Excel Режим справки Сохранить Отмена

№	Пласт	Мощность	Сопротив...	К
1	Аргиллит	1.2	27.0	1.
2	Алевро...	5.1	39.0	1.

Рисунок 3.14 – Определение горно-геологических характеристик условий эксплуатации выработки

Шахта "им. Костенко", Выработка "Самостоян_Монтажная камера 8д1-2"

Расчетная ширина выработки, $B_c = 6.0 \text{ м}$

Сопротивление кровли на сжатие (0.5 м), $R_c = 30.78 \text{ МПа}$

Величина смещения, $U_m = 30.59 \text{ мм}$

Рекомендованное крепление: Одноуровневое анкерное крепление

Условия выбора схемы крепления:

$R_c < 35.0 \text{ МПа}$, $U_m \leq 150.0 \text{ мм}$ (Глубина $\leq 300.0 \text{ м}$)

Рисунок 3.15 – Рекомендуемая схема крепления

Паспорт анкерного крепления

Описание Схема Экспорт в Excel

Параметр	Значение
Сопротивление пород кровли выработки сжатию, МПа	30.78
Смещение пород в кровле выработки, мм	30.59
Длина анкера в кровле выработки, м	2.4
Расстояние между анкерами в ряду в кровле выработки, м (Аа)	1.23
Количество анкеров в ряду в кровле выработки, шт.	5.0
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами), м (Ск)	1.4
Плотность установки анкерной крепи в кровле выработки, шт/м ² (Рк)	0.66
Сопротивление пород в боках выработки, МПа	9.0
Расчетная нагрузка на 1 м ² в боках выработки, кН/м ²	40.0
Длина анкера в боках выработки, м	1.51
Расстояние между анкерами в ряду в боках выработки, м	1.58
Количество анкеров в ряду в боках выработки, шт.	2.0

Рисунок 3.16 – Расчет параметров крепи

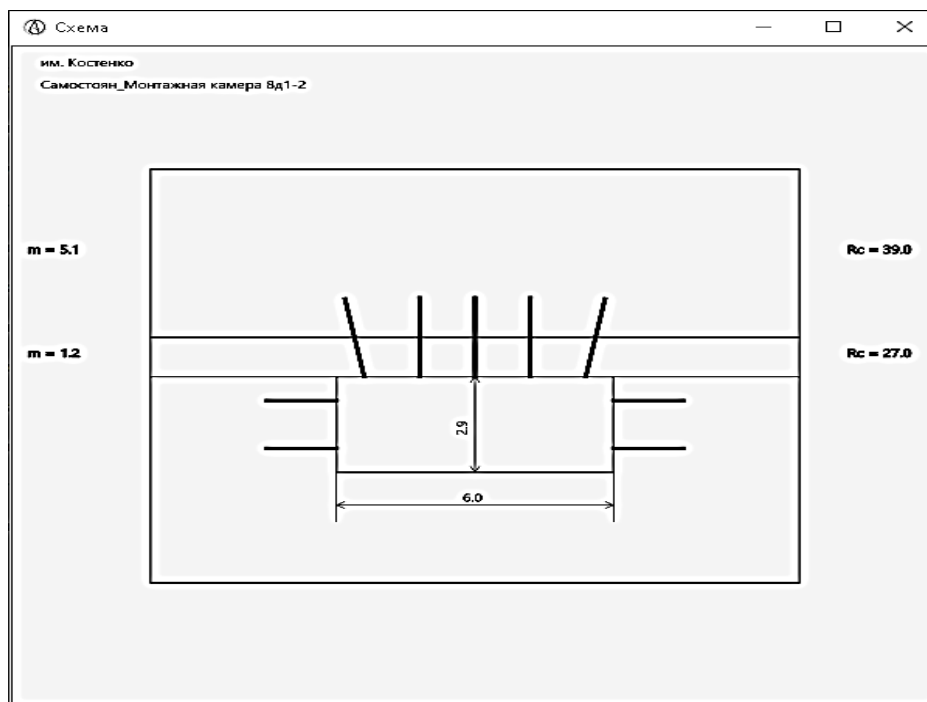


Рисунок 3.17 – Схема крепления

input7136044376011811161 [P					
Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Сл					
Вставить Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число формат					
A17 : X ✓ f					
	A	B	C	D	E
1	Название шахты	им. Костенко			
2	Наименование выработки	Самостоян_Монтажная камера 8д1-2			
3	Сопротивление пород кровли выработки сжатию, МПа	30,78			
4	Смещение пород в кровле выработки, мм	30,59			
5	Длина анкера в кровле выработки, м	2,4			
6	Расстояние между анкерами в ряду в кровле выработки, м (Aa)	1,23			
7	Количество анкеров в ряду в кровле выработки, шт.	5			
8	Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами), м (Ck)	1,4			
9	Плотность установки анкерной крепи в кровле выработки, шт/м² (Pk)	0,66			
10	Сопротивление пород в боках выработки, МПа	9			
11	Расчетная нагрузка на 1 м² в боках выработки, кН/м²	40			
12	Длина анкера в боках выработки, м	1,51			
13	Расстояние между анкерами в ряду в боках выработки, м	1,58			
14	Количество анкеров в ряду в боках выработки, шт.	2			
15	Дата	2019.12.26 19:36:13			
16					
17					
18					
19					
20					
Исходные данные Параметры крепи Выработка Паспорт Схема +					

Рисунок 3.18 – Экспорт данных в Excel

3.3 Программа для ЭВМ

Целью программы для ЭВМ Anker 2019, реализующей методику автоматизированного расчета параметров анкерного крепления, является повышение точности и качества принимаемых проектных решений, снижение временных затрат, повышение эффективности работ, проводимых на шахтах Карагандинского угольного бассейна.

Назначением программы для ЭВМ является выбор схемы крепления и расчета параметров анкерной технологии крепления горных выработок для изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации угольных шахт, выполняемых в строгом соответствии с разработанной структурной схемой расчета параметров анкерного крепления, нормативными документами, опыта анкерного крепления на шахтах Карагандинского угольного бассейна, ближнего зарубежья.

Функциональные возможности программы для ЭВМ:

- формирование базы данных горно-геологических и горнотехнических характеристик для проводимых горных выработок предприятия, рекомендации по выбору схемы крепи.
- выполнение расчётов параметров крепи на всех этапах проектирования на основе разработанного порядка расчета (раздел 2) в строгом соответствии с Инструкцией [54] и поправочных коэффициентов, полученных в результате накопленного опыта анкерного крепления горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна, шахтах ближнего зарубежья.
- формирование в отдельный файл уже оформленных расчетных данных для составления технических документов по креплению горных выработок.

Структура данных:

- справочные данные;
- входные данные (эксплуатационные характеристики выработки);
- паспорт крепления (параметры крепления, графическая схема крепления).

Вводимая исходной информации об объектах и задачах проектирования представлена в виде диалога, который позволяет ввести следующие исходные данные:

- горно-геологические: угол падения пород, период разработки, тип анкера;
- горнотехнические: сопротивление пород в почве, удельный вес пород, время поддержания подработанной выработки, время поддержания выработки после надработки, расположение слоев пород, искусственное ограждение, степень трещиноватости;
- параметры безопасности: характеристика тектонических нарушений и место их расположения, мощность и сопротивление пород в боках и кровле;
- технологические: вынимаемая мощность пласта, класс кровли при обрушаемости, класс слоя пород, мощность слоя пород, сопротивление пород одноосному сжатию, тип выработки, ширина выработки, высота выработки, поперечное сечение выработки в свету, вид и глубина расположения выработки, назначение выработки, воздействие других выработок, ширина взаимовлияющей

выработки, фактическое расстояние между параллельными выработками, время поддержания выработки, присечная выработка.

Необходимость ввода пользователем этих данных объясняется тем, что каждый из возможных элементов создаваемой технологической схемы имеет зависимость от различного набора входных параметров.

Математическая модель соответствует представленному порядку расчета параметров анкерного крепления в разделе 2.

Интерфейс пользователя является интерфейсом со свободной навигацией, имеется встроенная Справка.

Архитектура программного обеспечения компьютерной программы представлена набором программных компонент, логическая модель которых состоит из:

- подсистемы пользовательского интерфейса;
- подсистемы работы с хранилищем данных;
- подсистемы математических вычислений;
- подсистемы вычерчивания и формирования результатов расчета параметров анкерной крепи и технологических паспортов анкерного крепления выработок с учетом горно-геологических и горнотехнических характеристик условий эксплуатации;
- подсистема экспортирования: входных данных, паспорта анкерного крепления в Excel;
- из подсистемы позиционирования шахты на карте местности;

Средства программной и технической реализации программного обеспечения [103-107] (Приложение 3):

- языки программирования *Java* версии 8 и *Kotlin* версии 1.3;
- среда разработки *Intellij Idea*;
- распределенная система контроля версий *Git*;
- библиотека *TornadoFx* для улучшенного процесса разработки графического интерфейса.

Метод решения. Математический аппарат расчета анкерных и комбинированных технологических схем управления состоянием массива и повышения качества анкеруемых пород, адаптивных к изменению горно-технологических характеристик условий эксплуатации:

- анкерной крепи;
- комбинированной крепи;
- длины и плотности заложения канатных анкеров при анкерном и комбинированном креплении горных выработок;
- анкерного крепления сопряжений горных выработок, с учетом:
 - различных условий проведения горных выработок: наработка, подработка, опорное горное давление, повышенное горное давление, влияние лавы, влияние сближенных выработок, сохранение для повторного использования за линией очистного забоя;
 - допустимого опускания контуров выработки, возникающего напряженно-деформированного состояния массива горных пород, допустимой ограничивающей деформации пород кровли, возможностью двухуровневого крепления.

В зависимости от горно-геологических и горнотехнических характеристик условий эксплуатации выделены следующие наиболее актуальные виды выработок и условия их поддержания, для которых разработана и реализована цифровая модель расчета анкерной и комбинированной крепей:

- выработок и сопряжений, проводимых в массиве и поддерживаемых в течении всего срока службы вне зоны влияния очистных работ;
- выработок и сопряжений, проводимых в массиве, а затем поддерживаемых в зоне влияния очистных работ;
- для магистральных выработок и сопряжений, поддерживаемых в зоне опорного давления при ширине целиков больше $0,05 \cdot H$, но не менее 15 м;
- для выемочных выработок, погашаемых за лавой;
- для выемочных выработок, охраняемых целиком шириной не менее 15 м, а затем погашаемых за смежной лавой;
- для выемочных выработок, охраняемых целиком шириной 2,5 – 3,0 мощности пласта, а затем погашаемых за смежной лавой;
- выработок, проводимых вприсечку к выработанному пространству;
- в зонах ППГД в условиях с подрабатываемым пластом;
- в зонах ППГД в условиях с надрабатываемым пластом.

В качестве критерия интенсивности горного давления, для расчета анкерной крепи, приняты расчетные смещения пород кровли, в зависимости от принятых исходных данных для конкретных горно-геологических и горнотехнологических условий эксплуатации.

Выводы по третьему разделу

– Разработаны уравнения аппроксимации номограмм расчетных смещений пород подземных горных выработок, актуальных для горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна. Исследована достоверность полученных уравнений аппроксимации номограмм, абсолютная погрешность расчетных смещений кровли составляет 0.5-1 мм, относительная погрешность 2-5 %;

– разработана методика автоматизированного расчета параметров технологии анкерного крепления подготовительных горных выработок различного технологического назначения с учетом влияющих факторов условий эксплуатации Карагандинского угольного бассейна, реализованная в формате программы для ЭВМ Anker 2019;

– точность и качество проектных решений достигается за счет выполнения расчёта на всех этапах в строгом соответствии со структурной схемой расчета, с действующими нормативными документами, учетом накопленного опыта анкерного крепления на шахтах Карагандинского угольного бассейна;

– реализована функция настройки расчета самостоятельной одноуровневой анкерной крепи, в соответствии с «Инструкцией по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. 2008г»;

– в Справочники включены значения физико-механических свойств вмещающих пород для основных районов Карагандинского бассейна (см. таблицы 1.4-1.5).

4 Обоснование параметров крепления горных выработок с использованием технологии анкерного крепления

4.1 Разработка технических решений по расчету параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского бассейна

Применение и расчет параметров анкерного крепления на шахтах Карагандинского угольного бассейна в настоящее время регламентируется «Инструкцией по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна» [54], разработанной РГП «Национальный научно-исследовательский центр по проблемам промышленной безопасности» и УД АО «АрселорМиттал Темиртау» и утвержденной к применению в 2008 г. В настоящее время на УД внедряется переработанная инструкция по расчету и применению анкерной крепи, в которую вошла рассмотренная выше структурная схема расчета анкерного крепления (см. раздел 2), адаптированная к эксплуатационным условиям Карагандинского угольного бассейна и в разработке, которой принимал личное участие автор данной работы.

Ниже приведены расчеты параметров анкерного крепления для горных выработок шахт Карагандинского угольного бассейна, шахты им. Костенко и шахты «Шахтинская». По разработанным паспортам анкерного крепления, согласно договорным исследованиям по теме «Переработка инструкции по расчету и применению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау», договор № 17.20.2005 от 17.09.2017 года, доп. соглашение №4 от 02.08.2019, договор №3368, заключенного с УД АО «АрселорМиттал Темиртау», в настоящее время проведено крепление участков горных выработок *Сбойка №3 46Б_{К1-3}* (шахта им. Костенко), *Вентиляционный бремсберг 11Д₁₋₂* , *Вентиляционный штрек 18Д₁₋₂* (шахта «Шахтинская»), за выработками ведется производственное наблюдение.

4.1.1 Расчет параметров анкерного крепления горных выработок в условиях эксплуатации шахты им. Костенко

Сбойка №3 46Б_{К1-3} ю. По результатам, приведенного ниже, аналитического расчета параметров крепления горной выработки *Сбойка №3 46Б_{К1-3}* шахты им. Костенко (рисунок 4.1), с учетом условий эксплуатации выработки (таблица 4.1), было сделано следующее заключение:

– для удовлетворения условий эксплуатации подготовительной горной выработки и обеспечения её устойчивости (глубина выработки 650 м, ширина выработки 5,4 м, расчетное смещение пород кровли $U_m = 187,5$ мм, сопротивление пород кровли на сжатие $R_{ck}=22.17$ МПа) рекомендуется *комбинированное крепление*;

– с плотностью установки анкерных крепей в кровле выработки 1,53 анк/м²; длиной анкеров 2,6 м; несущей способностью анкеров 100 кН. Величиной заглубления в устойчивую зону массива пород 0,4 м, длиной выступающей из шпура части анкера 0,1 м;

– с плотностью установки рам металлической податливой крепи, при комбинированной схеме крепления, должна составлять 1,14 рам/м, с сопротивлением металлоарочной крепи 290 кН/м.

Таблица 4.1– Горнотехнологическая характеристика выработки

Наименование выработки	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь сечения, м ²	Глубина заложения, м
Сбойка №3 46Б _{К1-3}	75	5,4	3,55	14,5	650-660

1) Для определения параметров крепления горной выработки, на первом этапе, производится расчет средневзвешенного значения сопротивления пород кровли на сжатие на высоте кровле $0,5 \cdot V_c$.

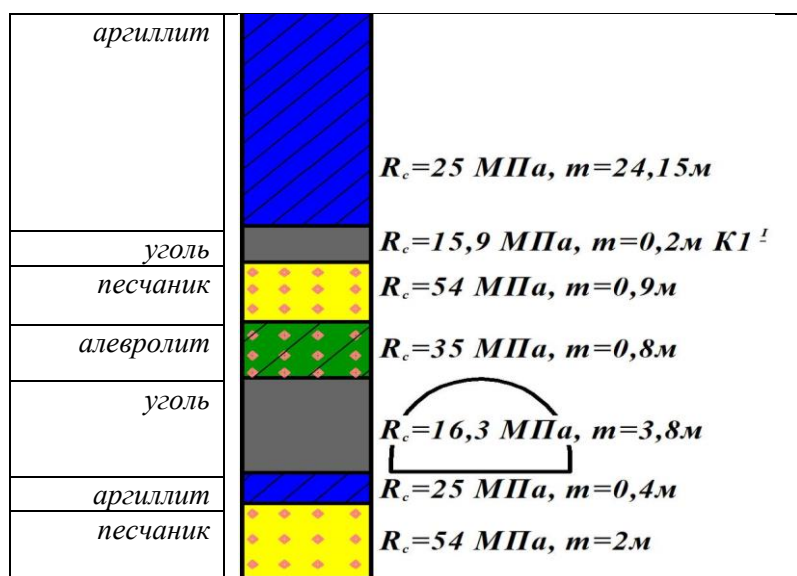


Рисунок 4.1– Стратиграфический разрез и прочностные параметры горных пород вокруг выработки

Расчетное сопротивление пород определяется (см. таблицу 2.6):

$$\text{для кровли } R_{ск} = \frac{(R_{c1} \cdot m_1 \cdot k_{вл1} + R_{c2} \cdot m_2 \cdot k_{вл2} + \dots + R_{cn} \cdot m_n \cdot k_{влn}) \cdot k_c}{0,5 \cdot V_c}, \text{ МПа} \quad (4.1)$$

где, $R_{c1}, R_{c2}, \dots, R_{cn}$ – сопротивление сжатию слоев пород кровли, МПа;

$m_1; m_2; m_n$ – мощности слоев пород на высоте $0,5 \cdot V_c$ для кровли и h для боков выработки, м;

$k_{вл} = 1$ – коэффициент снижения сопротивления пород сжатию за счет воздействия влаги (не обводненная);

$k_c = 0,6$ (III тип кровли) – коэффициент, учитывающий нарушенность массива пород поверхностям без сцепления, либо с малой связностью, принимается равным 0,9 для I и II типов кровли; 0,6 для III типа.

При определении прочности пород по коэффициенту крепости f , перевод в МПа производится по формуле $R = 10 \cdot f$.

Определяется усредненное сопротивление пород на сжатие кровли выработки:

$$R_{\text{ск}} = \frac{(35 \cdot 0,8 + 54 \cdot 0,9 + 15,9 \cdot 0,2 + 25 \cdot 0,8) \cdot 0,6}{2,7} \quad (4.2)$$

$$= 22,17 \text{ МПа}; R_{\text{ск}} < 35 \text{ МПа};$$

2) Вид выработки и условия поддержания выработки: *Сбойка №3 46Б_{КЛ-3}* – выработка, проводимая в массиве и поддерживаемая в продолжении всего срока службы вне зоны влияния очистных работ;

3) Определяется расчетное смещение кровли с анкерной крепью (см. таблицу 2.10), таблица 4.2.

Таблица 4.2 – Результат расчета смещение пород кровли выработки

Параметры	Порядок расчета	Результат расчета / Входные данные
Расчетное смещение в кровли, U_M , мм	$U_M = U_T \cdot K_\alpha \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_B \cdot$	$U_M = 265 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 = 187,5 \text{ мм}$
Типовые смещения кровли, U_T , мм	$U_T = f(H, Rc)$ (рисунок Г 2.6), при $B = 5 \text{ м}$; $K_\alpha = K_{\text{ш}} = K_B = K_a = 1$.	250 мм
Глубина выработки, м	H	660 м
Коэффициент $K_{\text{ш}}$, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5 \text{ м}$	$K_{\text{ш}} = 0,25 \cdot (B - 1)$, $B = B_c$ – фактическая ширина выработки	$B_c = 5,4 \text{ м}$
Коэффициент K_B , учитывающий влияние других смежных выработок на расстояниях	$K_B = 1$, при $\ell \geq 15 \text{ м}$, $K_B = 1 + \left(1 - \frac{\ell}{15}\right)$, при $\ell \leq 15$	$\ell \geq 15 \text{ м}$
Расстояние до смежных выработок (влияние других смежных выработок на расстояниях), м	ℓ	15 м
Коэффициент K_a учитывающий расположение выработок	$K_a = f$ (Расположение выработок), таблица 2.11	$K_a = 1$, <i>сбойка</i>
Коэффициент K_α , учитывающий степень связывания и упрочнения пород	$K_\alpha = f$ (Длина закрепления стержня анкера), таблица 2.12	$K_\alpha = 0,75$, по всей длине
Длина закрепления стержня анкера в скважине (шпуре) скрепляющим составом, м	– 0,5; – 1; – по всей длине	По всей длине

4) Так как $R_{\text{ск}} < 35 \text{ МПа}$, $U_M > 150 \text{ мм}$, производится расчет сопротивление на сжатие $R_{\text{ск}}$ пород кровли на высоте свода, равного $1,5 \cdot B_c$, м:

$$R_c = \frac{(35 \cdot 0,8 + 54 \cdot 0,9 + 15,9 \cdot 0,2 + 5,6 \cdot 25) \cdot 0,6}{8,1} = \frac{131,78}{8,1} = 17,27 \text{ МПа}, \quad (4.3)$$

$$R_c < 35 \text{ МПа}$$

Выбор схемы крепления (см. таблицу 2.26), т.к. $R_{ck} < 35 \text{ МПа}$, принимается расчетная схема с комбинированной крепью.

5) Рассчитываются параметры анкерной крепи (см. таблицу 2.27), таблица 4.3.

Таблица 4.3 – Результат расчета параметров анкерной крепи

Параметры	Порядок расчета	Результат расчета / Входные данные
1	2	3
Длина анкеров, ℓ_a , м	$\ell_a = \ell_\epsilon + \ell_3 + \ell_n$ ℓ_ϵ – глубина возможного обрушения пород свода, м; ℓ_3 – величина заглубления в устойчивую зону массива пород, составляет 0,3 – 0,5 м; ℓ_n – длина выступающей из шпура части анкера, зависящая от конструкции и толщины опорно-поддерживающих элементов (0,1 – 0,2 м)	$\ell_a = 2,83 \text{ м}$ $\ell_3 = 0,4 \text{ м}$ $\ell_n = 0,15 \text{ м}$
Высота свода обрушения пород в кровле, ℓ_b , м	$\ell_b = \frac{a'}{f \cdot k_c},$ $a' = a + h \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ $\varphi = 35^\circ$ – угол внутреннего трения пород (для шахт Карагандинского угольного бассейна рекомендуется принимать равным 35°). f – крепость по шкале проф. Протоdjяконова, принимается равным значению слабых пород, если слой слабой породы превышает $0,1 \cdot B_c$ иначе значение определяется по формуле: $f = \frac{f_1 \cdot m_1 + f_2 \cdot m_2 + \dots + f_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$ h – высота выработки, м	$\ell_b = 3,7 \text{ м}$ $a' = 4,54$ $a = 2,5 \text{ м};$ $\varphi = 35^\circ$ $f_1 = 3,5$ $m_1 = 0,8 \text{ м}$ $f_2 = 1,59$ $m_2 = 0,2 \text{ м}$ $f_3 = 2,5$ $m_2 = 5,6 \text{ м}$ $f = 3,48$ $m_2 = 15,5 \text{ м}$ $h = 3,3 \text{ м}$
Плотность установки анкеров в кровле, Π_k , шт/м ²	$\Pi_k = \frac{(\ell_a - \ell_n) \cdot \gamma_k \cdot n_{\Pi}}{P_a}, \text{ анк} / \text{м}^2$ $\gamma_k = \frac{\gamma_1 \cdot m_1 + \gamma_2 \cdot m_2 + \dots + \gamma_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$ γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли в пределах зоны обрушения пород (на высоте $0,5 \cdot B_c$), кН/м ³ . n_{Π} – коэффициент пригрузки (направлен на определение давления, испытываемого нижним слоем породы кровли со стороны вышележащих слоев),	$\Pi_k = 2,05 \text{ анк} / \text{м}^2$ $\gamma_k = 25 \text{ кН/м}^3$ $n_{\Pi} = 2,5$, т.к $R_c < 35 \text{ МПа}$ $P_a = 100 \text{ кН}$

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3
	для Карагандинского угольного бассейна принимается равным: $n_{\Pi} = 2,5$, если сопротивление пород кровли на сжатие $R_c \leq 35 \text{ МПа}$; $n_{\Pi} = 2,0$, если $35 < R_c \leq 80 \text{ МПа}$; $n_{\Pi} = 1,5$, если $R_c > 80 \text{ МПа}$. P_a – расчетная несущая способность анкера, кН	Значение плотности установки анкеров в кровле не округляется
Расстояние между анкерами в ряду, a_a , м	$a_a = \sqrt{\frac{1}{\Pi_k}}$ Допускается округление в меньшую сторону	$a_a = 0,79$
Количество анкеров в ряду в кровле выработки, n_k , шт	$n_k = \frac{B_c}{a_a}$ для арочной формы выработки Рекомендуется округление в большую сторону	$n_k \approx 7$ анк
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), C_k , м	$C_k = \frac{n_k \cdot P_a}{(B_c - 0,6) \cdot (l_a - l_n) \cdot \gamma_k \cdot n_{\Pi}}$ для прямоугольной формы выработки. Допускается округление в меньшую сторону	$C_k = 1,0$ м

6) Поскольку анкерная крепь в данных условиях может применяться только в сочетании с рамной, определяется плотность установки металлоарочной крепи. Определяются параметры металлоарочной крепи (см. таблица 2.31)

Таблица 4.4 – Результат расчета параметров металлоарочной крепи

Параметры	Порядок расчета	Результат расчета / Входные данные
Плотность установки рам металлической податливой крепи, n , рам/м	$n = \frac{(l_a - l_n) \cdot \gamma_k \cdot B_c}{N}$ N – сопротивление рамной крепи, кН/м; γ_k – средневзвешенный объемный вес пород кровли пределах зоны обрушения пород (на высоте кровли $0,5 \cdot B_c$), МН/м³	$n = 1,2$ рам/м $N = 290$ кН – сопротивление крепи КМП-А3 с планкой ЗПК $\gamma_k = 25$ МН/м ³
Плотность установки рам металлической податливой крепи при комбинированном схеме крепления (с учетом анкерной крепи), N , рам/м	$N = n \cdot \psi$ ψ – поправочный коэффициент, учитывающий уменьшения плотности установки рамной, крепи при наличии анкерного крепления с учетом класса пород по устойчивости; принимается: 0,5 – для песчаника; 0,56 – для алевролитов; 0,61 – для аргиллитов; 0,66 – для угля	$N = 0,55$ рам/м $\psi = 0,52$

7) Результаты поверочного расчета параметров анкерной крепи для крепления и поддержания выработки *Сбойка №3 46Б_{К1}-з* шахты им. Костенко на программном комплексе Anker 2019 представлены в таблице 4.5

Таблица 4.5 – Паспорт комбинированного крепления

<i>Сбойка №3 46Б_{К1}-з</i>	Метод расчета	
	ручной	автоматизированный
<i>Анкерное крепление</i>		
Типовые смещение пород кровли, U_T , мм	260	265,05
Расчетные смещение пород кровли, U_m , мм	195,5	218,67
Сопротивление пород кровли на сжатие, R_{ck} на высоте $0,5 \cdot B_c$, МПа	22,17	22,17
Сопротивление пород кровли на сжатие, R_{ck} на высоте $1,5 \cdot B_c$ МПа	17,27	17,39
Длина анкера, м	2,63	2,6
Плотности установки анкеров, анк/м ²	1,5	1,53
Расстояние между анкерами в ряду, м	0,8	0,81
Количество анкеров в ряду, шт	7	7
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), м	1	1,01
<i>Металлоарочная крепь</i>		
Плотность установки рам металлической податливой крепи, рам/м	1,13	1,14
Плотность установки рам металлической податливой крепи при комбинированном схеме крепления, рам/м	0,59	0,6

Сравнительный анализ результатов ручного и автоматизированного методов расчета показывают, что несовпадения в результатах имеются по определению расчетных смещений пород кровли (U_m), плотности установки рам металлической податливой крепи (n), значения которых определяются по линиям номограмм. Как следствие, вносятся погрешности в значения величин, зависящие от U_m и n .

Также были замечены ошибки в вычислениях, такие как, нарушение последовательности расчета, выбора схемы крепления. Всего этого, в принципе не может произойти, при вычислениях с помощью автоматизированного метода расчета. При ручном методе расчета срабатывает человеческий фактор.

Ввиду сложности, как в методическом плане, так и в вычислительном, рекомендуется расчет параметров анкерного крепления производить с помощью компьютерной программы Anker 2019. Одним из важных преимуществ использования методики автоматизированного расчета, также является возможность моделирование вариантов схем крепления.

4.1.2 Расчет параметров анкерного крепления горных выработок в условиях эксплуатации шахты «Шахтинская»

Вентиляционный бремсберг 11_{Д1-2}. На основе анализа результата аналитического расчета параметров крепления горной выработки *Вентиляционный бремсберг 11_{Д1-2}* шахты «Шахтинская» (рисунок 4.2), для условий эксплуатации выработки (таблица 4.6 – 4.11), было сделано следующее заключение:

– для удовлетворения условий эксплуатации выработки и обеспечения её устойчивости (глубина выработки 402 м, ширина выработки 5 м, расчетное смещение пород кровли $U_m = 41,9$ мм, сопротивление пород кровли на сжатие $R_{ck} = 35.1$ МПа, удельная расчетная нагрузка на боковые анкера $P_{аб}$, МПа) рекомендуется *одноуровневое анкерное крепление*.

– с плотностью установки анкерных крепей в кровле выработки 1,09 анк/м²; длиной анкеров 2,4 м; несущей способностью анкеров 130 кН; величиной заглубления в устойчивую зону массива пород 0,5 м; длиной выступающей из шпура части анкера 0,1 м;

– в боках выработки – с длиной анкеров 1,56 м; несущей способностью анкеров 80 кН; количеством анкеров в ряду – 2 шт.

Таблица 4.6 – Характеристика выработки

Наименование выработки	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь сечения, м ²	Глубина ведения работ, м
Вентиляционный бремсберг 11 _{Д1-2}	1150	5	3	15	402

Породы кровли пласта (рисунок 4.2) представлены алевролитами мощностью 5,6м, песчаниками мощностью до 3,3м. Крепость алевролитов–3,9, крепость песчаников –5,2 по шкале проф. Протоdjeяконова.

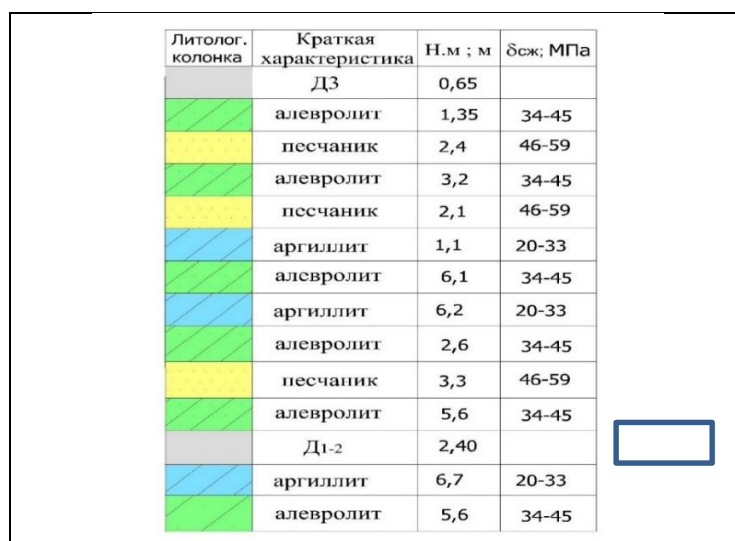


Рисунок 4.2 – Стратиграфический разрез и прочностные параметры горных пород вокруг выработки

Таблица 4.7 – Горнотехнологические характеристики

Характеристика	Значение
Ширина выработки, м	5
Высота выработки, м	3
Глубина выработки, м	402
Полупролет выработки по ее ширине, м	2,5
Форма поперечного сечения	Прямоугольная
Расположение выработки	бремсберг
Воздействие других выработок	Одиночная выработка
Влияние других смежных выработок на расстоянии, м	>15
Ширина взаимовлияющей выработки, м	5
Вид выработки и условия ее поддержания	Проводимые в массиве и поддерживаемые в продолжение всего срока службы вне зоны влияния очистных работ
Тип кровли по обрушаемости	1 тип кровли
Охрана целиком, его ширина, м	15
Степень связывания и упрочнения пород анкерами, м	По всей длине
Коэффициент концентрации напряжений в боках (K_{θ})	1,5
Расстояние от влияющего пласта до горной выработки в кровле, м	50

Таблица 4.8 – Параметры анкерной крепи

Параметр	Значение
Несущая способность анкера боков, кН	80
Величина заглубления в устойчивую зону массива пород кровли анкеров первого уровня, ℓ_z , м	0,5
Длина выступающей из шпура части анкера из пород кровли анкеров первого уровня, ℓ_n , м	0,1

Таблица 4.9 – Характеристика горных пород вокруг выработки

Слои породы	Сопротив-ление, МПа	Мощно-сть, м	Коэфф. влажности	Угол внутр. трения, Град	Объемный вес, кН/м ³	Номер слоя по порядку
в кровле выработки						
Алеврит	39	5,6	1	35	23,7	1
Песчаник	52	3,3	0,52	35	23,7	2
в боках выработки						
Уголь	15,1	2,4	1	35	13,2	1
Алеврит	33	5,6	1	35	23,7	2

Таблица 4.10 – Поправочные коэффициенты, характеристика влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов

Поправочные коэффициенты / Характеристика	Значения
1	2
$K_{\theta \max}$ – максимальное значение коэффициента увеличения напряжений в боках выработок	3,0

Продолжение таблицы 4.10

1	2
Коэффициент K_a , учитывающий местоположение выработок	1,0
Коэффициент $K_{ш}$, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5$ м	1,0
Коэффициент K_e , учитывающий влияние других смежных выработок на расстояниях	1,0
Коэффициент K_α , учитывающий степень связывания и упрочнения пород	0,75
Коэффициент K_c , учитывающий дополнительную нарушенность кровли от типа кровли	0,9
γ_k – средневзвешенный объемный вес в пределах зоны обрушения пород в кровле 0.5 м, т/м ³	23,7
$\gamma_{к\sigma}$ – средневзвешенный объемный вес в пределах зоны обрушения пород в боках, т/м ³	13,2
φ – угол внутреннего трения пород, град	35,0
K_σ – коэффициент концентрации напряжений в боках от проходки выработок, принимаемый для выработок – 1,5 при самостоятельной схеме анкерного крепления. Для ПГД или $B_c > 6$ м принимается равным 1,2	1,5
$K_{вл}$ – коэффициент увеличения напряжений в боках выработок от других выработок	1,0
K_o – коэффициент увеличения напряжений в боках выработок при расположении их в зоне опорного давления от очистных работ	2,25

Таблица 4.11 – Паспорт одноуровневого анкерного крепления

Вентиляционный бремсберг ПД1-2	Метод расчета	
	ручной	автоматизированный
<i>Кровля выработки</i>		
Типовые смещение пород кровли, U_T , мм	40	54,79
Расчетные смещение пород кровли, U_M , мм	30	41,9
Сопротивление пород кровли на сжатие, R_{ck} на высоте $0,5 \cdot B_c$, МПа	35,1	35,1
Длина анкера, м	2,4	2,4
Плотности установки анкеров, анк/м ²	1,09	1,09
Расстояние между анкерами в ряду, м	0,96	0,96
Количество анкеров в ряду	5	5
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), м	1,04	1,04
<i>Бока выработки</i>		
Сопротивление пород боков выработки на сжатие, $R_{c\sigma}$, МПа	10	9,99
Длина анкера, м		1,56
Расстояние между анкерами в боках, м	1,4	1,36
Количество анкеров в ряду в боках, шт	2	2
Удельная расчетная нагрузка на боковые анкера $P_{a\sigma}$, МПа	40	42,99

Вывод: Параметры анкерного крепления удовлетворяют эксплуатации выработки и обеспечивают её устойчивость.

Парный вентиляционный штрек 18Д₁₋₂. На основе анализа результата аналитического расчета параметров крепления горной выработки *Вентиляционный штрек 18Д₁₋₂* шахты «Шахтинская» (рисунок 4.3), для условий эксплуатации выработки (таблица 4.12 – 4.17), было сделано следующее заключение:

– для удовлетворения условий эксплуатации выработки и обеспечения её устойчивости (глубина выработки 315 м, ширина выработки 4,62 м, расчетное смещение пород кровли $U_m = 187,5$ мм, сопротивление пород кровли на сжатие $R_{ck} = 22.17$ МПа) рекомендуется *комбинированное крепление*.

– с плотностью установки анкерных крепей в кровли выработки 1,33 анк/м²; длиной анкеров 2,4 м; несущей способностью анкера 100 кН; величиной заглубления в устойчивую зону массива пород 0,5 м; длиной выступающей из шпура части анкера 0,1 м;

– с плотностью установки металлоарочной крепи, при комбинированном виде крепления, 0,47 рам/м, с сопротивлением металлоарочной крепи 290 кН/м.

Таблица 4.12 – Характеристика горной выработки

Наименование выработки	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь сечения, м ²	Глубина заложения, м
Вентиляционный штрек 18Д ₁₋₂	370	4,62/4,18	3,35/ 3,13	13,2/10,3	241/315

Выработка проводится с пересечением напластования пород, поэтому в расчете принимаем: Породы в кровле выработки, представленные аргиллитами мощностью 3,2 м. Крепость аргиллитов –2,6 по шкале проф. Протождьяконова.

Лито-лог. колонка	Краткая характеристика	Н.м ; м	δсж; МПа
	Дз	0.5	
	алевролит	6.4	34-45
	песчаник	6.3	46-59
	алевролит	2.95	34-45
	аргиллит	2.0	20-33
	алевролит	5.95	34-45
	песчаник	1.8	46-59
	алевролит	4.4	34-45
	песчаник	2.0	46-59
	алевролит	1.7	34-45
	Д ₁₋₂	2.55	
	алевролит	1.6	34-45
	аргиллит	3.2	20-33
	алевролит	3.0	34-45
	аргиллит	2.55	20-33
	песчаник	18.8	46-59

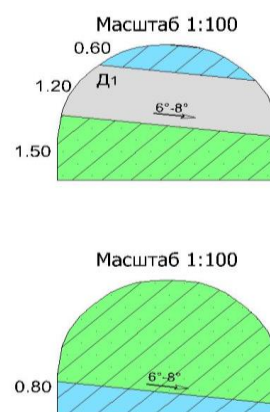


Рисунок 4.3 – Стратиграфический разрез и прочностные параметры горных пород вокруг выработки.

Таблица 4.13 – Горнотехнологические характеристики горной выработки

Параметры	Значения
Ширина выработки, м	4,62
Высота выработки, м	3,35
Глубина выработки, м	315
Полупролет выработки по ее ширине, м	2,31
Форма поперечного сечения	Арочная
Расположение выработки	монтажная камера
Воздействие других выработок	Одиночная выработка
Влияние других смежных выработок на расстоянии, м	>15
Ширина взаимовлияющей выработки, м	5
Вид выработки и условия ее поддержания	Проводимых в массиве и поддерживаемых в продолжение всего срока службы вне зоны влияния очистных работ
Тип кровли по обрушаемости	1 тип кровли
Охрана целиком, его ширина, м	15
Степень связывания и упрочнения пород анкерами, м	По всей длине
Коэффициент концентрации напряжений в боках выработки ($K\sigma$)	1,5
Расстояние от влияющего пласта до горной выработки в кровле, м	50

Таблица 4.14 – Параметры анкерной крепи

Параметры	Значения
Несущая способность анкера кровли, кН	100
Величина заглубления в устойчивую зону массива пород кровли анкеров первого уровня, ℓ_3 , м	0,5
Длина выступающей из шпура части анкера из пород кровли анкеров первого уровня, ℓ_n , м	0,1
Соппротивление металлоарочной крепи, кН/м	290
Несущая способность анкера кровли, кН	

Таблица 4.15 – Характеристика горных пород кровли выработки

Слои пород в кровле	Соппротив-ление, МПа	Мощ-ность, м	Коэф-фициент влажности	Угол внутр. трения, Град	Объемный вес, кН/м ³	Номер слоя по порядку
Алевролит	26	3,2	1	35	23,1	1
Песчаник	39	1,6	1	35	23,1	2
Алевролит	10	2,13	1	35	23,1	3

Таблица 4.16 – Поправочные коэффициенты, характеристика влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов

Поправочные коэффициенты / Характеристика	Значения
Коэффициент K_a , учитывающий расположение выработок	1,0
Коэффициент $K_{ш}$, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5$ м	0,905
Коэффициент K_e , учитывающий влияние других смежных выработок на расстояниях	1,0
Коэффициент K_a , учитывающий степень связывания и упрочнения пород сталеполимерными анкерами	0,75
Коэффициент K_c , учитывающий дополнительную нарушенность кровли от типа кровли	0,9
γ_k – средневзвешенный объемный вес в пределах зоны обрушения пород в кровле, т/м ³	23,1
φ – угол внутреннего трения пород, град	35,0
ψ – поправочный коэффициент, учитывающий уменьшения плотности установки рамной крепи, при наличии анкерного крепления с учетом класса пород по устойчивости, принимается: 0,5 – для песчаника; 0,56 – для алевролитов; 0,61 – для аргиллитов; 0,66 – для угля	0,56

Таблица 4.17 – Паспорт комбинированного крепления

Вентиляционный штрек 18Д ₁₋₂	Метод расчета	
	ручной	автоматизированный
<i>Анкерное крепление</i>		
Типовые смещение пород кровли, U_T , мм	75	86,5
Расчетные смещение пород кровли, U_M , мм	51	58,72
Соппротивление пород кровли на сжатие, R_{ck} на высоте $0,5 \cdot B_c$, МПа	23,4	23,4
Соппротивление пород кровли на сжатие, R_{ck} на высоте $1,5 \cdot B_c$, МПа	21,6	21,68
Длина анкера, м	2,3	2,4
Плотности установки анкеров, анк/м ²	1,33	1,33
Расстояние между анкерами в ряду, м	0,87	0,87
Количество анкеров в ряду, шт	5	6
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), м	0,8	1,3
<i>Металлоарочная крепь</i>		
Плотность установки рам металлической податливой крепи, рам/м	1,3	0,85
Плотность установки рам металлической податливой крепи при комбинированном схеме крепления, рам/м	0,79	0,47

Вывод: Параметры анкерного крепления удовлетворяют эксплуатации выработки и обеспечивают её устойчивость.

4.1.3 Обоснование параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна

Анализ результатов шахтных производственных наблюдений и накопленного опыта по применению анкерного крепления за последние 10 лет в конкретных условиях эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна, выявил ряд недочетов по её использованию (см. таблицу 2.32), которые обусловили необходимость дополнительного обоснования и уточнения порядка расчета параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт бассейна (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Уточнение параметров расчета параметров анкерного крепления

Параметр	Обоснование
Расчетное сопротивление на сжатие (R_{ck}) слоев пород кровли короткими анкерами	Для создания единой несущей балки анкерами длиной 2,4 м (короткими анкерами) расчетное сопротивление на сжатие слоев пород кровли горной выработки определяется на высоте свода обнажения $0,5 \cdot B_C$ (условие среднего свода обрушения)
Расчетное сопротивление на сжатие (R'_{ck}) слоев пород кровли при большой мощности слабых пород	Для «подшивания» созданной балки к крепким породам с помощью длинных анкеров (длиной 3,5 м и более), расчетное сопротивление на сжатие слоев пород кровли определяется на высоте $1,5 \cdot B_C$
Плотность (P_k) установки анкеров первого уровня в кровле	Используется мощность закрепленного слоя пород кровли, т.е. значения величины длины анкера, закрепленного в кровле ($l_a - l_n$), вместо значения глубина (l_e) возможного обрушения пород свода при расчете значений P_k
Шаг установки анкерной крепи (C_k)	Используется мощность закрепленного слоя пород кровли, т.е. значения величины длины анкера, закрепленного в кровле ($l_a - l_n$), вместо значения глубина (l_e) возможного обрушения пород свода при расчете значений C_k
Количество анкеров n_k в ряду в кровле выработки при прямоугольной форме	При расчете количество анкеров n_k в ряду в кровле выработки при прямоугольной форме выработки, отступается от каждого края выработки на 0,3 м, ввиду того, что на практике анкера, установленные в данном месте выработки не «держатся»
Количество анкеров n_k в ряду в кровле выработки при арочной форме	Количество анкеров n_k в ряду в кровле выработки для арочной формы выработки определяются по вертикальной составляющей давления пород кровли на выработку, т.е. не по периметру свода, а по ширине выработки, т.е. отступы от каждого края выработки не предусматриваются
Параметры анкерной крепи второго уровня	В действующей Инструкции порядок расчета параметров анкеров глубокого заложения не описан
Параметры металлоарочной крепи	В действующей Инструкции порядок расчета параметров металлоарочной крепи не описан
Критерии выбора схемы крепления (одно-, двухуровневого, комбинированного)	В действующей Инструкции не описано
Поправочные коэффициенты влияющих факторов эксплуатации	Уточнены за 10 лет использования анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна (см. таблицы 1.4-1.7, раздел 2.3.4)

В ходе аналитического расчета параметров анкерного крепления 38 подготовительных горных выработок различного технологического назначения в условиях эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна, были разработаны рекомендации по выбору схем и параметров анкерного крепления, представленные в таблицах 4.19 – 4.21.

Таблица 4.19 – Рекомендуемые значения параметров одноуровневого анкерного крепления

Параметры	I*	II	I	II	I	II
№	1		2		3	
Выработка	Вентиляционный бремсберг 11Д1-2 Вентиляционный штрек 18Д1-2 Конвейерный уклон 40К13-К14					
Шахта	шахта «Шахтинская»		шахта им. Костенко		шахта им. Костенко	
Крепление кровли выработки						
Расчетное сопротивления на сжатие (R_{ck}) слоев пород кровли самостоятельной одноуровневой крепью, МПа	43,82	35,1	49,12	44,21	37,2	45,9
Длина анкера, м	2,4	2,4	2,51	2,4	2,52	2,4
Плотность (P_k) установки анкеров установки анкеров первого уровня в кровле, анк/м ²	0,9	1,09	1,13	1,12	1,14	1,13
Расстояние между анкерами в ряду, м	1,05	0,96	0,94	0,94	0,94	0,94
Количество анкеров n_k в ряду в кровле выработки при прямоугольной форме, шт	5	5	7	7	6	6
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), (C_k), м	1,26	1,04	1,07	1,08	1,01	1,02
Крепление боков выработки						
Длина анкера, м	1,56	1,56	1,56	1,56	2,19	2,19
Расстояние между анкерами в боках, м	1,4	1,36	1,58	1,58	1,57	1,57
Количество анкеров в ряду в боках, шт	2	2	2,0	2,0	2,0	2,0

Примечание*. I – Действующая Инструкция; II – Рекомендуемые значения.

Выполненные аналитические расчеты параметров анкерного крепления горных выработок *Вентиляционный бремсберг 11Д₁₋₂* (шахта «Шахтинская»), *Вентиляционный штрек 18Д₁₋₂* (шахта им. Костенко), *Конвейерный уклон 40К_{13-К14}* (шахта им. Костенко) по действующей Инструкции и разработанному порядку расчета в диссертационной работе показали, что результаты совместимы по значениям, например, плотность установки анкеров в кровле отличаются на 0,7%. Длина, количество анкеров в боках и кровле выработок совпадают.

Что свидетельствует, о правильности результатов проведенных исследований.

На рисунке 4.4 приведен сравнительный анализ плотности установки рекомендуемых значений анкеров и по действующей Инструкции, анк/м².

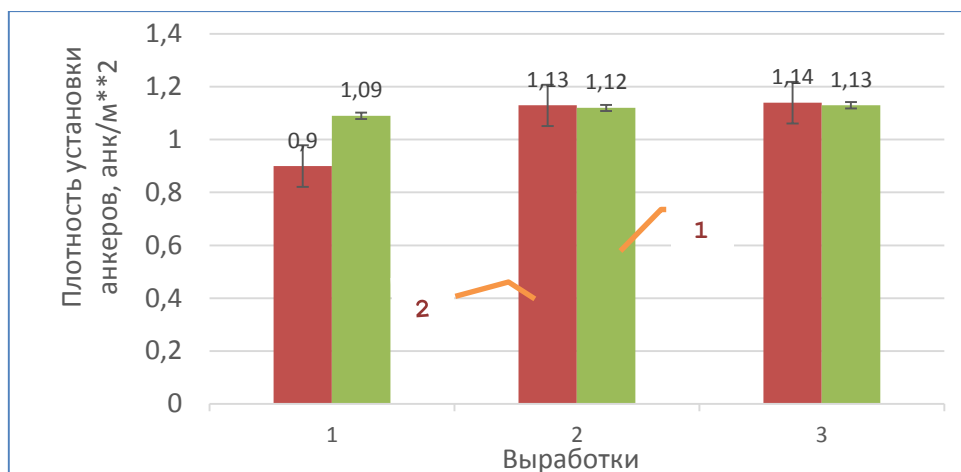


Рисунок 4.4 – Плотность установки рекомендуемых значений анкеров (1) и по действующей Инструкции (2), анк/м²

Таблица 4.20 – Рекомендуемые значения параметров анкерного крепления для комбинированной схемы крепления

Параметры	Монтажная камера 44БК12- 1-3	Сбойка №3 46БК1-3	Вент.бремс берг 44КЗ-В
1	2	3	4
	шахта им. Костенко	шахта «Шахтинская»	шахта им. Костенко
Действующая Инструкция	Порядок расчета не описан		
Схема крепления	Комбинированное		
Анкерное крепление			
Глубина заложения выработки, м	670	650	400
Расчетное сопротивления на сжатие ($R_{ск}$) слоев пород кровли короткими анкерами, МПа	23,4	22,17	31,32
Расчетное сопротивления на сжатие ($R'_{ск}$) слоев пород кровли при большой мощности слабых пород, МПа	21,68	17,39	33,24
Длина анкера, м	2,4	2,6	2,4
Плотность (Π_k) установки анкеров установки анкеров первого уровня в кровле, анк/м ²	1,33	1,53	1,36
Расстояние между анкерами в ряду, м	0,87	0,81	0,86
Количество анкеров n_k в ряду в кровле выработки при арочной форме	6	7	6

Продолжение таблицы 4.20

1	2	3	4
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), (C_k), м	1,3	1,01	1,01
<i>Металлоарочная крепь</i>			
Плотности установки рам металлической податливой крепи, рам/м	0,85	1,14	0,94
Плотность установки рамной крепи при комбинированном виде, рам/м	0,47	0,6	0,53

На рисунке 4.5 приведен сравнительный анализ плотности установки металлоарочной крепи (1) и рамной крепи при комбинированном виде, рам/м.

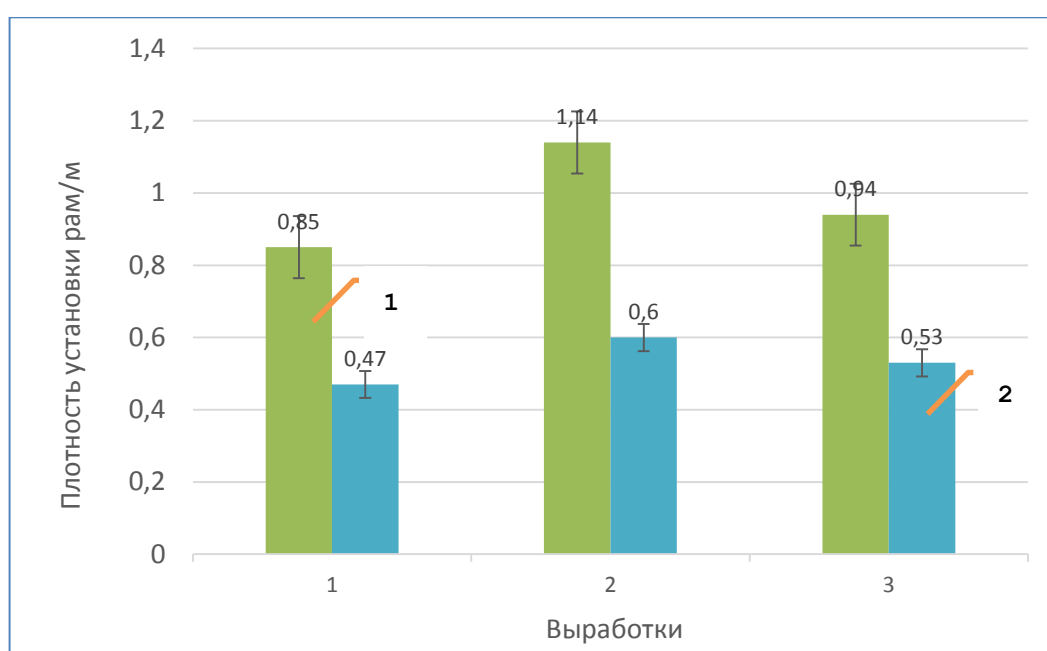


Рисунок 4.5 – Плотность установки металлоарочной крепи (1) и рамной крепи при комбинированном виде (2), рам/м

Таблица 4.21 – Рекомендуемые значения параметров анкерного крепления для двухуровневой схемы крепления

Параметры	<i>Монтажная камера 51к7-в</i>	<i>Вентиляционный, штрек 41К13-в</i>	<i>Бремсберг 4,04д6-в</i>
1	2	3	4
	шахта им. Костенко	шахта им. Кузембаева	шахта им. Ленина
Действующая Инструкция	Порядок расчета не описан		
Схема крепления	Двухуровневая		
Глубина заложения выработки, м	670	492	737
Сопротивление пород кровли выработки сжатию, МПа	30,06	28,8	36,0

Продолжение таблицы 4.21

1	2	3	4
Сопротивление пород кровли выработки сжатию ($1,5 \cdot B_c$), МПа	38,34	38,18	36,0
Смещение пород (U_m) в кровле выработки, мм	93,02	88,07	166,66
Длина анкера в кровле выработки, м	2,4	2,4	2,4
Расстояние между анкерами в ряду (a_a) в кровле выработки, м	0,83	0,87	0,93
Количество анкеров в ряду (n_k) в кровле выработки, шт	5,0	6,0	5,0
Шаг установки (C_k) анкерной крепи (расстояние между рядами), м	1,02	0,91	1,14
Плотность установки (Π_k) анкерной крепи в кровле выработки, шт/м ²	1,44	1,32	1,15
Сопротивление пород в боках выработки (R_{cb}), МПа	9,0	10,8	16,2
Расчетная нагрузка на 1 м ² в боках выработки, кН/м ²	40,0	40,0	40,0
Длина анкера в боках выработки, м	1,94	1,56	1,67
Расстояние между анкерами в ряду в боках выработки, м	1,58	2,69	1,58
Количество анкеров в ряду в боках выработки, шт,	2,0	1,0	2,0
Длина канатного анкера, м	5,03	5,74	5,38
Расчетное удельное давление пород свода естественного равновесия на анкеры глубокого заложения, кН/м ²	87,78	92,7	91,75
Количество анкеров глубокого заложения в ряду, шт/ряд	3,0	3,0	3,0
Расстояние между анкерами глубокого заложения в рядах, м	1,0	1,5	1,2
Общее сопротивление анкеров первого уровня и анкеров глубокого заложения, кН/м ²	222,91	192,11	216,15
Количество канатных анкеров увеличено на, шт	2,0	2,0	2,0
Плотность установки анкеров глубокого заложения, анк/м ²	0,1	0,2	0,17
Шаг установки (C_k) анкеров глубокого заложения (расстояние между рядами), м	1,02	0,91	1,14

Выводы: Определены методические подходы к уточнению расчета параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского бассейна.

Обоснованы параметры одно-, двухуровневого, комбинированного крепления для подготовительных горных выработок шахт (им. Костенко, им. Кузембаева, им. Ленина, «Шахтинская») Карагандинского бассейна;

Выполнены расчеты по обоснованию выбора схемы и расчета параметров анкерного крепления для подготовительных горных выработок шахт «Шахтинская» и им. Костенко Карагандинского бассейна.

4.1.4 Обоснование анкерного крепления подземных горных выработок по стоимостному фактору

При проектировании на практике горнодобывающие предприятия стремятся к снижению общей суммы затрат на строительство и поддержание горных выработок. В первом приближении общую сумму затрат можно найти из выражения:

$$Z = (K + E) \cdot N \cdot \omega, \quad 4.1$$

где K, E – соответственно, капитальные и эксплуатационные затраты;

N – количество ремонтов выработки;

ω – коэффициент устойчивости.

Рассмотрим переменные N и ω . Количество ремонтов N в течение срока службы для различных выработок сильно отличается, например, для околоствольных капитальных выработок, сроком службы в десятки лет, ремонтов может быть 1-2, а для отдельных участков, в пределах зон повышенного горного давления более 3. В подготовительных выработках, которые эксплуатируются в течение срока отработки лавы (1–1,5 года), редко выполняется более 1 ремонта.

Поэтому N определяется как результат деления длины ремонтируемых участков за весь период эксплуатации к общей длине выработки.

Таким образом при определении Z следует исходить из того, что обязательным является по меньшей мере один ремонт. Вероятность выполнения последующих ремонтов существенно ниже, а потому при расчете Z следует учитывать первый ремонт, а расходами на дальнейшее поддержание выработки можно пренебречь.

Коэффициент устойчивости ω является достаточно универсальным параметром, определяющим состояние выработки.

Значение ω изменяется в пределах $0 \leq \omega \leq 1$.

При величине ω близкой нулю, выработку относят к устойчивым, при максимальном значении – к неустойчивым. Несмотря на кажущуюся простоту,

коэффициент устойчивости имеет существенный практический смысл.

Расчетная величина коэффициента ω лишь косвенно отражает качественное состояние выработки, определяя, тем не менее, количественно степень устойчивости (неустойчивости).

Опыт эксплуатации подземных горных выработок показывает, что рано или поздно с достаточно высокой вероятностью участки, где крепь выработок существенно деформирована и не соответствует паспорту крепления ($\omega \rightarrow 1$), переходят в неустойчивое состояние.

Для эксплуатируемых выработок величина коэффициента устойчивости позволяет планировать затраты и их объемы на будущие отчетные периоды, закладывая их в бюджет горнодобывающего предприятия. Определение ω обычно выполняется в натурных условиях непосредственно на шахтах.

Для вычисления значения коэффициент устойчивости ω будем использовать результаты выполненных наблюдений за выработками на предмет их дефектности (Приложение В):

$$\omega = (S_{\text{пр}} - S_{\text{ф}}) / S_{\text{пр}}, \quad 4.2$$

где $S_{\text{пр}}$ – проектные сечения выработки на контрольном участке, соответствующих паспорту крепления; $S_{\text{ф}}$ – фактические средние сечения выработки.

Стоимость проходки и ремонта горных выработок тыс. тенге/м [12, с.189], закрепленных металлоарочной крепью на шахтах Карагандинского угольного бассейна составляет 100, анкерной – 65. Зависимость изменения коэффициента устойчивости от суммы затрат на крепление и ремонт выработок, согласно таблице 4.22 представлена на рисунке 4.6.

Таблица 4.22 – Коэффициент устойчивости выработок шахт Карагандинского угольного бассейна в зависимости от видов крепи

№	Наименование выработки	Проектное сечение выработки	Фактическое сечение выработки	Вид крепления	Коэффициент устойчивости, ω	Z, тыс.тг
ш. им. Костенко						
1.	Монт.камера 45к7-з	15	13,6	анкер	0,09	6,07
2.	Вент.сбойка 45к7-з №2	15	13,12	анкер	0,13	8,15
3.	Вент.сбойка 46к7-з №3	15	13,06	анкер	0,13	8,41
4.	Вент.штрек 41к10-в	12,8	11,54	МАК	0,10	9,84
5.	Южный конв.штрек к12 №2	14,4	9,91	МАК	0,31	31,18
6.	4 вост.конв.штрек к7	14,4	11,68	МАК	0,19	18,89

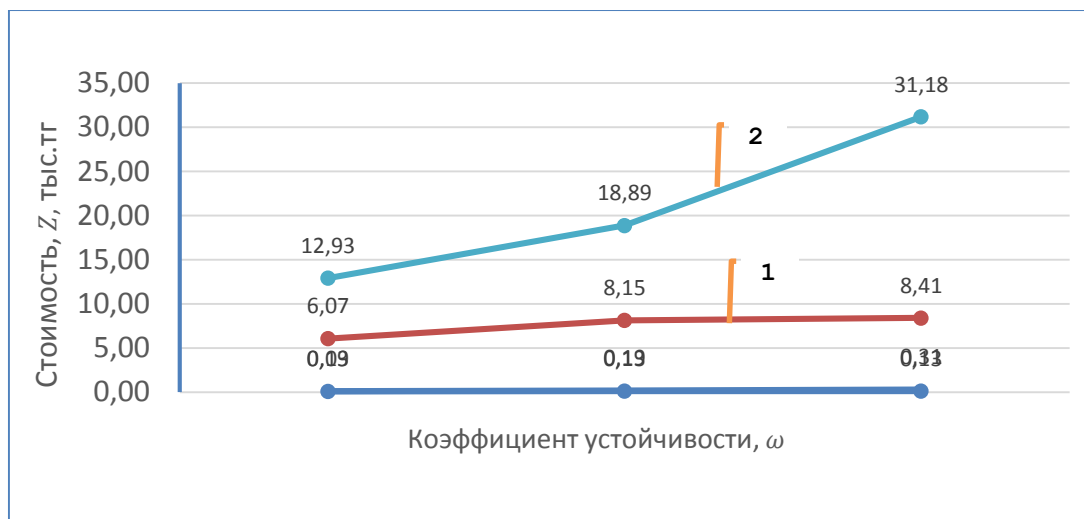


Рисунок 4.6 – Зависимость изменения коэффициента устойчивости от суммы затрат на крепление и ремонт. 1 –анкерное крепление, 2 – металлоарочная крепь

Анализ, выполненных расчетов, с целью определения минимальных затрат, позволил построить зависимость величины коэффициента устойчивости ω от суммарных затрат на крепление и ремонт выработок (рисунок 4.5) и сделать следующие выводы:

- максимальная величина суммарных затрат на крепление и ремонт выработки наблюдается при максимальных и минимальных значениях коэффициента устойчивости ω горных выработок;
- наименьшая величина суммарных экономических затрат характерна для анкерных систем крепления (меньше примерно в 2 раза), что еще раз обосновывает тенденцию широкого использования анкерного крепления горных выработок.

4.2 Закономерности изменения параметров анкерного крепления от влияющих факторов условий эксплуатации

Из анализа конструкций анкерных крепей и условий их применения на шахтах Карагандинского угольного бассейна установлено, что основными причинами недостаточно высоких объемов применения анкерного крепления выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна являются [см. раздел 1.10]:

- усложнение горно-геологических и горнотехнических условий с переходом на большую глубину разработки;
- увеличение на 35-40% площади поперечного сечения выработок, в особенности выемочных у лав, и объемов бесцеликовой охраны выработок на границе с выработанным пространством;
- несовершенство методических подходов, определяющих применение передовых технологий крепления.

Решением проблемы является крепление подготовительных выработок одно-, двухуровневыми или комбинированными анкерными крепями.

Целью выполненных аналитических расчетов является выработка закономерностей изменения параметров анкерного крепления горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна от влияющих факторов условий эксплуатации, глубины заложения выработок (H), смещения пород кровли (U_m), сопротивление пород на сжатие (R_c/B_c).

В таблицах 4.23 – 4.24 приведена зависимость состояния прочности пород от глубины заложения выработки и показан случай с горной выработкой *Монтажная камера 51к7-в*, шахта им. Костенко, когда при росте глубины заложения выработки прочность пород возрастает, о чем говорится в [28, с. 105].

Рекомендуемые параметры анкерного крепления при возведении крепи на шахтах им. Кузембаева, им. Ленина, им. Костенко (Приложение И) Карагандинского бассейна, в зависимости от глубины и ширины выработки в различных горно-геологических и горнотехнических условиях представлены в таблица 4.25.

На рисунке 4.7 показана зависимость смещения пород кровли от глубины заложения выработки. С ростом глубины на 304 м смещение кровли увеличилось на 469,42 мм.

На рисунках 4.8-4.11 показаны закономерности изменения параметров комбинированного и двухуровневого крепления от глубины заложения выработки, отношения сопротивления породы кровли к ширине выработки (R_c/B_c).

Таблица 4.23 – Оценка состояния устойчивости пород

Выработка	Шахта	Глубина заложения, м	Смещение пород кровли, мм	Сопротивление пород кровли на сжатие $0,5 \cdot B_c / 1,5 \cdot B_c$, МПа	Состояние пород вокруг выработки	Схема крепления
<i>Вентиляционный штрек 41к13-в</i>	им. Кузембаева	492	88	28,8 / 10,8	Устойчивые	Двухуровневая
<i>Вентиляционный бремсберг 44к3-в</i>	им. Костенко	641	109,8	31,31 / 14,22	Среднеустойчивые	Комбинированное
<i>Монтажная камера 51к7-в</i>	им. Костенко	670	93,02	30,6 / 38,3	Устойчивые	Двухуровневая
<i>Вентиляционный бремсберг 40к7-в</i>	им. Костенко	720	323,96	27,3 / 13,5	Неустойчивые	Комбинированное
<i>Бремсберг 4.04дб-в</i>	им. Ленина	737	421	15,16 / 15	Очень неустойчивые	Двухуровневая

Таблица 4.24 – Состояние прочности пород от глубины заложения выработки

Глубина	Смещение пород кровли, мм	Состояние устойчивости пород
До 500	до 90	Устойчивые
500 - 700	100 - 300	Среднеустойчивые
601 - 700	300 - 400	Неустойчивые
700 - 800	более 400	Очень неустойчивые

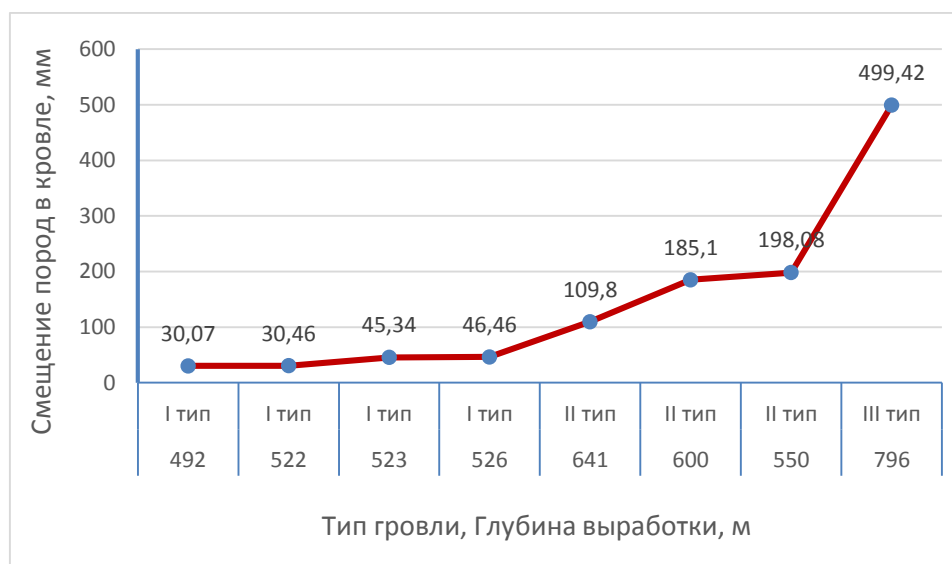


Рисунок 4.7 – Зависимость смещения пород кровли от глубины выработки

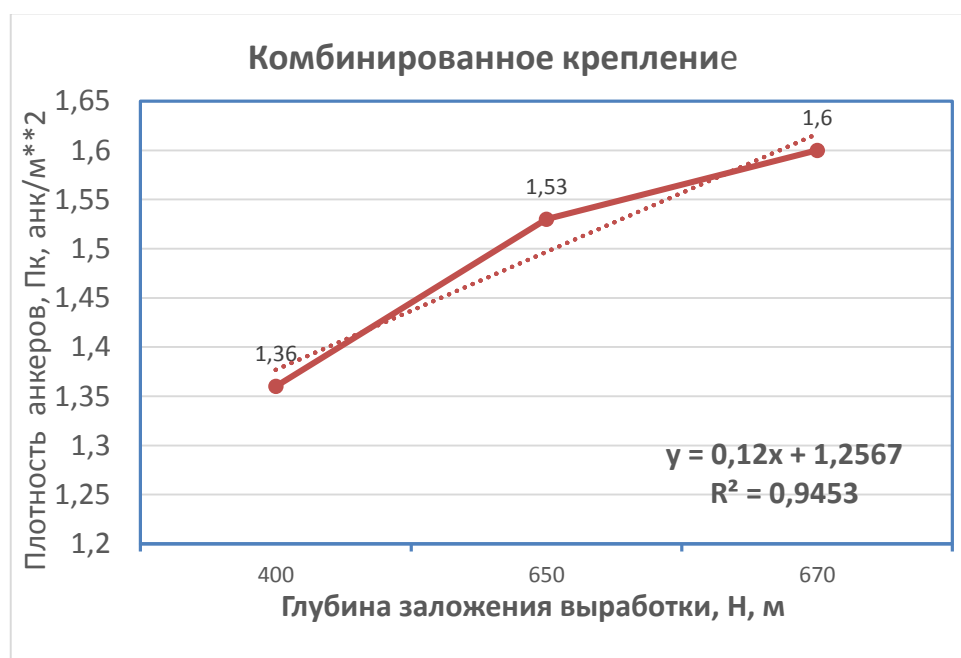


Рисунок 4.8 – Зависимость плотности установки анкеров в кровле выработки, при комбинированной схеме крепления

Таблица 4.25 – Рекомендуемые параметры анкерного крепления, в зависимости от глубины и ширины горных выработки, для условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна

Рекомендуемая схема крепления	Двухуровневая	Двухуровневая	Анкерная	Анкерная	Комбинированная	Анкерная	Комбинированная	Комбинированная
Горная выработка	Монтажная камера 51К7-В	Вент. штрек 41К13-В	Конв. уклон 41К13- К14	Полевая вент.сбойка 42К13-В	Вент. сбойка 45К10-В №3	Вент. бремсберг 44К10-В	Вент. бремсберг 44К3-В	Конв. уклон Д6 гор.- 340м
Шахта	им. Костенко	им.Кузенбаева	им. Кузенбаева	им.Кузенбаева	им. Кузенбаева	им. Кузенбаева	им. Костенко	им. Ленина
Глубина заложения выработки, м	670,0	492	526	522	600	639	641	796
Ширина выработки, м	44	5	5	5,5	5,8	5,5	5	5,81
Высота выработки, м	3	3	3,4	3	3,8	3,4	3,3	4,155
Тип кровли по обрушаемости	II тип	I тип	I тип	I тип	II тип	I тип	II тип	III тип
Величина заглубления анкера, м	0,5	0,35	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,3
Длина части анкера, выступающей в выработку (ln), м	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Сопротивление пород кровли выработки сжатию (Rc), МПа, МПа на высоте кровли 0,5*В м,	9	28,8	39,6	49,5	24	49,5	31,32	15
Смещение пород в кровле выработки (Um), мм	92	88,07	46,46	30,46	185,1	45,34	109,8	499,42
Сопротивление пород кровли выработки сжатию (Rc), МПа, МПа на высоте кровли 1,5*В м,	38,34	38,18			18,3		33,24	15,0
Плотность установки анкерной крепи в кровле выработки, шт/м ² (Pk)	5,39	3,34	0,56	1,2	1,16	1,2	0,79	2,46
Плотность установки рамной крепи (с учетом анкерной крепи), рам/м					0,57		0,31	1,2
Длина анкера в кровле выработки, м	2,4	2,4	2,4	2,4	2,61	2,4	2,4	3,78
Длина канатного анкера, м	5,03	5,74						
Количество анкеров в ряду в боках выработки, шт,		2	2	2		2		

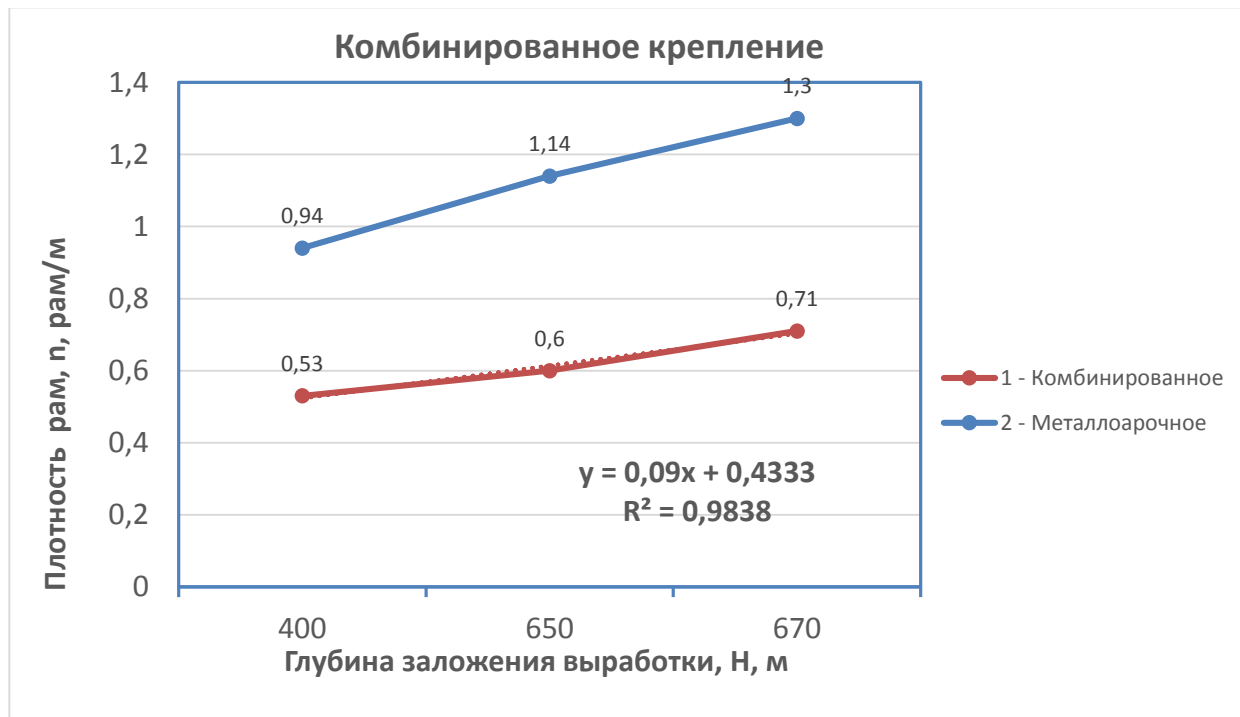


Рисунок 4.9 – Зависимость плотность установки металлоарочных крепей от глубины выработки, при комбинированной схеме крепления. 1 – комбинированная схема крепления, 2 – самостоятельное металлоарочное крепление

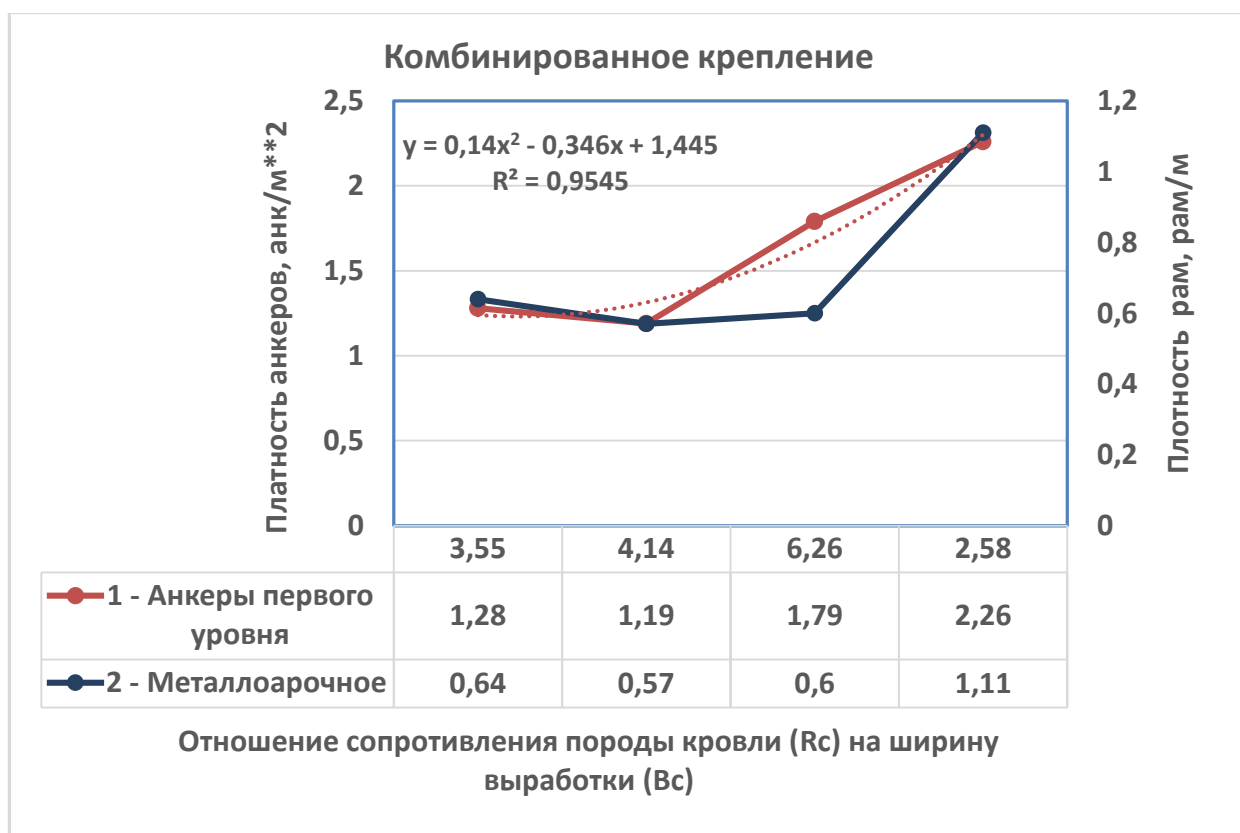


Рисунок 4.10 – Зависимость плотности установки анкеров и металлоарочных крепей при комбинированной схеме от R_c/B_c

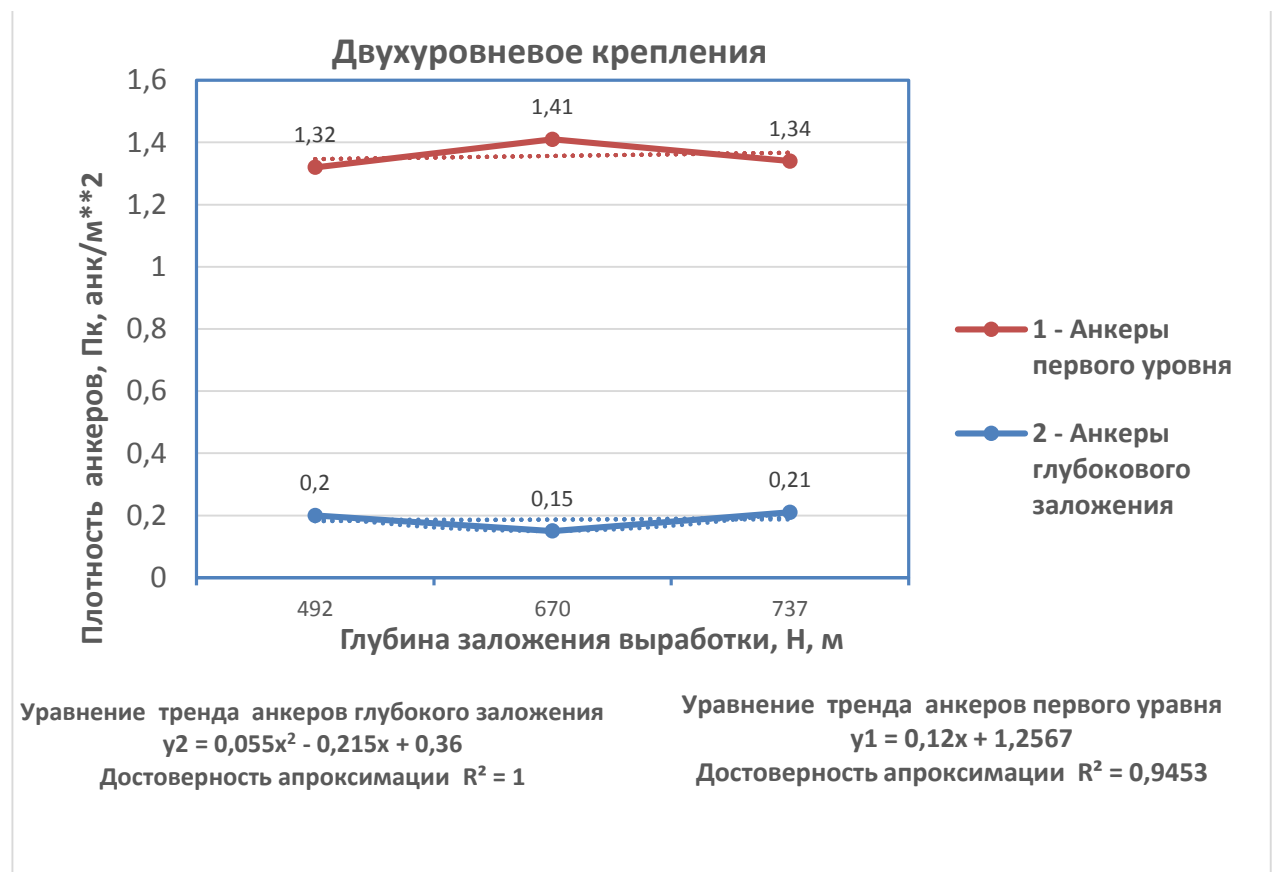


Рисунок 4.11 – Зависимость плотности установки анкеров первого уровня и глубокого заложения от глубины выработки

В таблице 4.26 приведена зависимость условий эксплуатации выработки, рекомендуемой схемы анкерного крепления от глубины выработки и типа кровли по обрушаемости, критерии выбора технологии анкерной крепи горной выработки. Свыше 550 м глубины выработки рекомендуется применение комбинированной схемы крепления.

Таблица 4.26 – Рекомендуемые схемы анкерного крепления в зависимости от глубины выработки и типа кровли по обрушаемости

Глубина выработки, h , м	Сопротивление пород кровли, R_C , $R'_{ск}$, МПа,	Смещение пород в кровле выработки, U_m , мм	Тип кровли по обрушаемости	Рекомендуемая схема крепления
$522 < h < 550$	$24 < R_C < 49,5$	$30,46 < U_m < 46,46$	I	Анкерная
$600 < h < 641$	$15 < R'_{ск} < 31,32$	$109,8 < U_m < 185,1$	II	Комбини- рованная
$h > 796$	$R'_{ск} < 15$	$U_m > 500$	III	Комбини- рованная
$h > 492$	$R'_{ск} > 28,8$	$U_m < 88,07$	I	Двухуровневая

Выводы по четвертому разделу

Определены методические подходы к уточнению расчета параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт Карагандинского бассейна.

Обоснованы параметры одно-, двухуровневого, комбинированного крепления для подготовительных горных выработок шахт (им. Костенко, им. Кузембаева, им. Ленина, «Шахтинская») Карагандинского бассейна;

Выполненные расчеты по обоснованию схемы и параметров анкерного крепления для выработок шахты «Шахтинская» дали следующие результаты:

– для выработки *Вентиляционный штрек 18Д₁₋₂* была рекомендована *Комбинированная* схема крепления, состояние пород вокруг выработки относятся к неустойчивым;

– для *Вентиляционного бремсберга 11Д₁₋₂* была рекомендована *Одноуровневая* схема крепления, состояние пород вокруг выработки относятся к *среднеустойчивым*.;

– для выработки *Сбойка №3 46Б_{К1-3}* шахты им. Костенко была рекомендована *Комбинированная* схема крепления, состояние пород вокруг выработки относятся к неустойчивым.

Для контроля расчет параметров крепления проводился как ручным, так и методом автоматизированного расчета.

Разработанные паспорта анкерного крепления, в настоящее время, проходят промышленную апробацию на шахтах им. Костенко и «Шахтинская» УД.

Закономерности изменения параметров комбинированного крепления от влияющих факторов условий эксплуатации выработки представлены следующими зависимостями:

– $y = 0,12x + 1,2567$, линейная зависимость плотности установки анкеров в кровле выработки от глубины заложения. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9453$;

– $y_1 = 0,09x + 0,4333$, линейная зависимость плотности установки металлоарочных крепей от глубины заложения выработки. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9838$;

– $y = 0,14x^2 - 0,346x + 1,445$, зависимость плотности установки анкеров от отношения сопротивления породы кровли к ширине выработки (R_c/V_c) является полиномиальной зависимостью. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9545$.

Закономерности изменения параметров двухуровневого крепления от влияющих факторов условий эксплуатации выработки представлены зависимостями:

– $y_1 = 0,12x + 1,2567$, линейная зависимость плотности установки анкеров первого уровня. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9453$;

– $y = 0,055x^2 - 0,215x + 0,36$, полиномиальная зависимость плотности установки анкеров глубокого заложения от глубины выработки. Достоверность аппроксимации $R^2 = 1$.

Величина достоверности аппроксимации $R^2 \in [0, 1]$ – число, которое отражает близость значения линии тренда к фактическим данным. Чем ближе к

1 величина этого показателя, тем достовернее линия тренда.

По результатам проведенных исследований по обоснованию параметров анкерного крепления для условий эксплуатации Карагандинского бассейна для расчета и выбора параметров анкерного крепления выработки были получены следующие рекомендации:

- при расчетном сопротивлении пород кровли на сжатие $R_c \geq 24$ МПа и смещении пород кровли $U_m \leq 50$ мм, и поддержании выработок в течение всего срока их службы, рекомендуется применять одноуровневое анкерное крепление

- при расчетном сопротивлении пород кровли на сжатие $R'_c \leq 28$ МПа (R'_c , сопротивление пород кровли на сжатие на высоте свода $1,5 \cdot B_c$), рекомендуется применять комбинированное крепление;

- при расчетном сопротивлении пород кровли на сжатие $R'_c \geq 28$ МПа, рекомендуется применять двухуровневое крепление.

Заключение

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований.

Представленная диссертация является исследованием в области обоснования параметров крепления горных выработок с использованием технологии анкерного крепления, с учетом влияющих факторов горно-геологического и горнотехнического характера условий эксплуатации угольных шахт.

Основные научно-практические результаты заключаются в следующем:

- при расчете параметров анкерного крепления подготовительных горных выработок учтены поравочные коэффициенты условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна. Корректировка значений поправочных коэффициентов и свойств, влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов, составляет: параметров анкерного крепления 20%, условий эксплуатации 15%;

- разработана структурная схема выбора схемы и расчета параметров технологии анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения, адаптивная к влияющим факторам условий эксплуатации. Методология позволит расширить область применения технологии анкерного крепления горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна более 20%;

- разработана Программа для ЭВМ, реализующая методику автоматизированного расчета параметров анкерной технологии крепления горных выработок, для конкретных условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна. За счет автоматизации технологического процесса при расчете паспортов анкерного крепления, производительность труда технологической службы увеличится на 90%, эффективность на 50%;

- получены закономерности изменения параметров анкерного крепления от влияющих факторов условий эксплуатации (глубины заложения выработки, величины смещения пород кровли, сопротивления пород на сжатие). Полученные закономерности позволят технологическим службам шахт моделировать параметры крепления горных выработок и выбирать обоснованный вариант видов анкерного крепления;

- разработаны технические решения по обоснованию параметров одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления горных выработок, с учетом комплекса влияющих факторов условий эксплуатации. Достоверность полученных значений параметров анкерного крепления составляет, плотности установки анкерных крепей 90%, абсолютной длины анкеров 0,1 м.

Оценка полноты решений поставленных задач.

Поставленные задачи решены в полном объеме и заключаются в следующем:

- оценены устойчивость и дефектность горных выработок Карагандинского угольного бассейна и выявлены влияющие факторы условий эксплуатации шахт бассейна на выбор схемы и параметры технологий анкерного крепления;

- разработана методология расчета параметров анкерного крепления подготовительных горных выработок, проводимых и поддерживаемых в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях эксплуатации;

- обоснован выбор схем и выполнен расчет параметров анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения для условий

эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна;

– установлены закономерности изменения параметров одно-, двухуровневого, комбинированного анкерного крепления горных выработок от влияющих факторов условий эксплуатации;

– разработана Программа для ЭВМ расчета параметров технологии анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения.

Оценка научного уровня выполнения работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.

Научные результаты исследований заключаются в разработке методологии обоснования параметров одно-, двухуровневого, комбинированного технологии анкерного крепления горных выработок, адаптивной к влияющим факторам условий эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна.

Полученные закономерности позволят технологическим службам шахт моделировать параметры крепления горных выработок и выбирать обоснованные варианты видов анкерного крепления

Разработанная Программа для ЭВМ расчета параметров технологии анкерного крепления, адаптивная к поровочным коэффициентам условий эксплуатации, условиям выбора вида технологии анкерного крепления, к физико-механическим свойствам вмещающих пород, к режиму порядка расчета: по действующей инструкции, по разработанной методологии расчета параметров технологии анкерного крепления.

Список использованных источников

1. Горная энциклопедия // гл.ред. Е.А. Козловский. Ред.кол.: М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдырев и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1984. –Т.1. – 560 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти (№ 13 от 31.03.2014). Изд-во: ЗАО НТЦ ПБ (2015. (Серия 05, выпуск 42)). – С. 195.
3. Большая Советская энциклопедия (в 30 т.) // А. М. Прохоров (гл. ред.). – 3-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1972. – Т. VIII. – С. 175. – 592 с.
4. Горное дело: Терминологический словарь // под. ред. К.Н. Трубецкого. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Горная книга, 2016. – 635 с.
5. Горная энциклопедия // гл.ред. Е.А. Козловский. Ред.кол.: М.И. Агошков, Л.К. Антоненко, К.К. Арбиев и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1991. –Т.5. – 541 с.
6. Забродин А.С. Об оценке нарушенности угольных пластов // В кн.: Геология угольных месторождений. – М.: Наука, 1969. –Т.1. – С. 45-49.
7. Altounyan. P. Анкерное крепление на шахтах Карагандинского бассейна. Rock Mechanics Technology. Презентация-55 слайдов. АрселорМиттал. АС-R03, 2008. – 35 с.
8. Ахунбаев А. Состояние и перспективы угольной промышленности Казахстана // Отраслевой журнал «Горно-металлургическая промышленность». – Издатель: ТОО «Горнорудная компания Казахстана», 2017. – № 8 (110).
9. Геология Карагандинского угольного бассейна // Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. М., 1972. – Т.9. – кн. 1.
10. Горная энциклопедия // – М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е. А. Козловского, 1984–1991. –Т.5. – 541 с.
11. Практическое применение геомеханики для решения задач горного производства: учеб. пособие // В.Ф. Демин, Ю.Н. Шапошник; Карагандинский государственный технический университет. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2016. – 90 с.
12. Управление устойчивостью контуров горных выработок в сложных горнотехнических условиях эксплуатации: Монография // В.Ф. Демин, Т.К. Исабек, Мельник В.В. - Караганда, 2016. – 283 с.
13. Демин В.Ф., Томилов А.Н. Проблемы разработки технологических схем крепления выработок в условиях угольных шахт // Труды университета 2017. – Караганда: КарГТУ, 2017. – Вып. 1. – С. 42-45.
14. Айдарова М. Повышение эффективности поддержания слоевых выработок при отработке мощных пластов на глубоких горизонтах (на пример шахт Промышленного участка Карагандинского бассейна) // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Караганда: КПТИ, 1884. – 149 с.
15. Altounyan. P. Анкерное крепление на шахтах Карагандинского бассейна. Rock Mechanics Technology. АрселорМиттал. АС-R03, 2008. – 35 с.
16. Руководство по изучению геологического строения шахтных полей при подземной разработке угольных месторождений // Всесоюзный НИИ горной механики и маркшейдерского дела ВНИМИ. –Ленинграу, 1967. – 319 с.
17. Корбашов М.А. Геомеханическое обоснование способов и средств повышения устойчивости слоевых выработок мощных пологих слоев // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новокузнецк: СГИУ, 1999. – 137 с.

18. В.Е. Ольховатенко, Трофимова Г.И. Характеристика физико-механических свойств горных пород Ерунаковского южного месторождения. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2013г. – С. 95-105.
19. Прокопьев А.В., Фридовский В.Ю., Гайдук В.В. Горная энциклопедия: учебное пособие // под. ред. Л.М. Парфенов. - Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. – С. 121-140.
20. Руководство по изучению геологического строения шахтных полей при подземной разработке угольных месторождений // Всесоюзный НИИ горной механики и маркшейдерского дела ВНИМИ. – Ленинград, 1967. – 319 с.
21. Демин В.Ф., Исабек Т.К., А.Н. «Разработка алгоритмов для расчета параметров горного производства» // Монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018г. – 110 с.
22. Корчак А. В. Методология проектирования строительства подземных сооружений. М., 2014. – 569 с.
23. Головачева В.Н., Томилов А.Н., Томилова Н.И. New approach to development of the expert system of control and knowledge assessment // Conference Proceedings «Sixth International Conference on Advances in Computing, Communication and Information Technology - CCIT 2018». – Швеция, 2018. – С. 47-49.
24. Корбашов М.А. Геомеханическое обоснование способов и средств повышения устойчивости слоевых выработок мощных пологих слоев // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новокузнецк: СГИУ, 1999. – 137 с.
25. Каретников В. Н., Клейменов В. Б., Нуждихин А. Г. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок: Справочник. М., 2013. – 235с.
26. Стефлюк Ю. Ю. Разработка технологии управления устойчивостью контуров горных выработок в сложных горнотехнических условиях эксплуатации // Докторская диссертация. КарГТУ, 2017. – 127 с.
27. Газалиев А.М., Демин В.Ф., Яворский В.В., Баймульдин М.К. Эффективность использования геомеханической системы «шорный массив-крепление» для повышения устойчивости горных выработок. – «Арко», Караганда, 2014. – 234 с.
28. Управление устойчивостью контуров горных выработок в сложных горнотехнических условиях эксплуатации: Монография // В.Ф. Демин, Т.К. Исабек, Мельник В.В. - Караганда, 2016. – 283 с.
29. Инструкция по расчету и применению анкерного крепления на угольных шахтах// М-во топлива и энергетики РФ. – России, 2000. – 70 с.
30. Гелескул М.Н., Каретников В.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. - М.: Недра, 1982. – С. 105-123.
31. Мельников Н. И. Анкерная крепь // –М.: Недра, 1980. – 352 с.
32. Воробьев Е.В., Привалов А.А. Опыт крепления сталеполевой крепи на шахтах «Гуковуголь» // Уголь, 1999. – № 8. – С. 18-20.
33. Сидсмен Р. Обзор анкерного крепления на шахтах Караганды // АрселорМиттал. АС-R03, 2010. – 35 с.
34. Демин В.Ф., Стефлюк Ю.Ю., Демина Т.В. и др. Выбор эффективных способов и средств крепления горных выработок. Горная техника- 2015. Санкт-Петербург, 2015. – С. 52-57.
35. Технология крепления горных выработок полимерными анкерами // - М.: НПП «Технология и оборудование», 2005. – 3 с.

36. Демин В.Ф. Разработка прогрессивных технологических схем проведения подготовительных выработок с анкерным креплением // Инновационно-прикладная технологическая разработка. Караганда, типография «Арко», 2015. – 60 с.
37. Временная инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. – Караганда, 1998. – С. 45-49.
38. Широков А.П. Анкерная крепь в горнодобывающей промышленности // – Кемерово, 1973.
39. Штумпф Г.Г., Стрыгин Б. И. Исследование совместной работы анкерной и рамной крепи в горных выработках // Уголь, 1975 г. – № 8.
40. Стрельцов Е.В., Сухиненко М.А. Совершенствовать крепления горных выработок // Шахтное строительство, 1985. – №1. – С. 5-14.
41. Журов В.В. Совершенствование методики расчета параметров крепления выработок с учетом горнотехнологических факторов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Караганда: КарГТУ, 2010. – 115 с.
42. Смагулова А.М. Создание технологии крепления горных выработок на базе аналитического моделирования напряженно-деформированного состояния приконтурного массива горных пород: дис. канд. тех. наук: шифр 25.00.22. – Караганда: КарГТУ, 2010. – 114 с.
43. Демин В.Ф., Томилов А.Н. Проблемы разработки технологических схем крепления выработок в условиях угольных шахт // Труды университета 2017. – Караганда: КарГТУ, 2017. – Вып. 1. – С. 42-45.
44. В. Ф. Демин, В. В. Яворский, Т. В. Демина, А. Н. Томилов. Разработка эффективных способов борьбы с пучением пород почвы в подготовительных выработках угольных шахт // Горный журнал 2018. – Москва, 2018. 10.7580/gzh.2018.04.10.
45. Алиев С.Б., Томилов А.Н. Анализ условий эффективности применения технологии анкерного крепления // Сагиновские чтения, 2019. – Вып. 11. – С. 68-70.
46. Томилов А.Н., Демин В.Ф. Разработка эффективных способов крепления подготовительных выработок с использованием анкерного крепления // Труды университета 2017. – Караганда: КарГТУ, 2017. – Вып. 3. – С. 44-47.
47. Задавин Г.Д. Установление параметров анкерной крепи при проведении подготовительных выработок в условиях шахт Карагандинского бассейна: дис. кан. тех. наук: – Караганда: КарГТУ, 2008. – 130 с.
48. В. Ф. Демин, А. Т. Батырханова, А. Н. Томилов, А. Е. Жумабекова, У. Е. Абеков Разработка технологических схем проведения горных выработок с управлением устойчивостью контуров при многоуровневом креплении // «Научный вестник национального горного университета», 2019. – Днепропетровск, 2019. – Вып. 3. – С. 22-27.
49. Демин В.Ф., Журов В.В., Томилов А.Н., Нургалиев Ж.С., Немова Н.А. Расчет проявлений горного давления в приконтурных породах вокруг выработки с анкерной крепью // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции, 2017. – Тюмень, 2017. – Вып.2. – 41 с.
50. В.Ф. Демин, Т.С. Филлипова Геомеханика при анкерном креплении горных выработок // – Карагандинский государственный технический университет. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2015. – 158 с.
51. В.В. Беликов, А.В. Беликов. Эффективные параметры анкерной сталеполимерной крепи, крепи усиления и охранных конструкций для поддержания выемочных выработок глубоких шахт // «Научно-технические проблемы разработки угольных месторождений, шахтного и подземного строительства».

Сборник научных трудов Новочеркасск 2005. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2005. – 244 с.

52. Демин В.Ф., Мусин Р.А., Демина Т.В., Томилов А.Н. Упрочение массива законтурными анкерами для снижения пучения пород почвы // Горный журнал Казахстана, 2018. – Вып. 7. – С. 34-38.

53. Беликов В.В. Эффективные средства и технологии анкерного крепления и бесцеликовой охраны подготовительных выработок при глубинах разработки 550-1100 м. // Труды международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово, 2003. – 56 с.

54. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. Караганда // Филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный научно-исследовательский центр по проблемам промышленной безопасности», Угольный департамент АО «АрселорМиттал Темиртау», 2008. – 88 с.

55. Ямщиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов // – М.: Недра, 1982. – 296 с.

56. Геологический словарь: в 2-х томах // – М.: Недра/. Под редакцией К. Н. Паффенгольца и др. М., 1978.

57. Сидсмен Р. Обзор анкерного крепления на шахтах Караганды // АрселорМиттал. АС-R03, 2010. – 35 с.

58. Цай Б.Н. Малахов А.А., Бахтыбаев Н.Б. Обоснование параметров крепления выработок с учетом срока их службы // Горный журнал Казахстан, 2007. – № 3. – С. 45-48.

59. Широков А.П., Лидер В.А., Дзауров М.А. Анкерная крепь: Справочник // – М.: Недра, 1990. – 205 с.

60. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России // – С-Петербург: Министерство топлива и энергетики Российской Федерации, 2000. – 35 с.

61. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Кузбасса // – Санкт-Петербург: ОАО ВНИМИ, 2010. – 162 с.

62. Методическое руководство по применению анкерной крепи на шахтах ЗАО УК «Южкузбассуголь» // – Новокузнецк: ОАО ОУК «Южкузбассуголь», 2005. – 47 с.

63. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах" // Изд-во: Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. – Серия 05. – Выпуск 42. – С. 195.

64. Приказ Ростехнадзора от 17.12.2013 N 610 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах". Зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014 N 31354. [Интернет-портал]. <https://bazanpa.ru/rostechnadzor-prikaz-n610-ot17122013-h2247124/normy/prilozhenie2/2/> (дата обращения: 10.04.2020 г.).

65. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 31.12.2013 № 30961) // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору

РФ. – 2013. – 187 с. [Интернет-портал]. URL: <http://minjust.consultant.ru/page.aspx?1087753> (дата обращения: 10.04.2015г.)

66. Стандарт Министерства угольной промышленности Украины «Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерной крепью» // Общие технические требования. – Киев, 2008. – 83 с.

67. Инструкция «Оценка устойчивости массива горных пород» ТОО «Корпорация Казахмыс» // Технический департамент, Геотехническое управление. Алматы, 2011. – 41 с.

68. Отраслевая инструкция по применению рамных и анкерных крепей в подготовительных выработках угольных и сланцевых шахт // – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1985. – 64 с.

69. Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов // Нормы проектирования и производства работ. – М.: Всесоюзный проектно-технологический институт транспортного строительства «ВПТИТРАНССТРОИ», 1991. – 136 с.

70. Инструкция «Крепление горных выработок на рудниках» // ТОО «Корпорация Казахмыс», Технический департамент, Геотехническое управление. – Алматы, 2011. – 42с.

71. Мартыненко И.А. Капралова И.А., Кулинич К.В. Параметры анкерной крепи // – М.: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), №3, 2009. – С. 278-280.

72. Демин В.Ф., Утенов Е.С., Журов В.В. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива // Тр. Междунар. симпозиума «Информационно-коммуникационные технологии в индустрии, образовании и науке». Ч. 1. – Караганда, 2010. – С. 138–140.

73. Алиев С.Б., Демин В.Ф., Яворский В.В. Применение интеллектуальных информационных технологий в горном деле: Монография. — Томск: Изд-во Спектр, 2013. – 122 с.

74. Куласек М. Программа расчетов горного давления и конвергенций «Conversys» // Коммерческое предложение (Германия). Караганда, 2016. – 1 с.

75. Программное обеспечение РПАК для автоматизации расчета параметров анкерной крепи. // [Интернет-портал]. <http://rank42.ru/articles/> (дата обращения: 21.12.2019г.)

76. Мустафин М. Г. Моделирование геомеханического состояния пород, вмещающих горную выработку // – СПб.: СПбГАСУ, 1999. – 135 с.

77. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Кузбасса: шаг вперед в креплении горных выработок. // [Интернет-портал]. <http://rank42.ru/articles/nauchnye-stati-sotrudnikov-ooo-rank-2/instruktsiya-po-raschetu-i-primeneniyu-ankernoy-krepi-na-ugolnykh-shakhtakh-kuzbassa-shag-vpered-v-k/> (дата обращения: 21.09.2020 г.)

78. Программное обеспечение РПАК для автоматизации расчета параметров анкерной крепи. // [Интернет-портал]. <http://rank42.ru/articles/nauchnye-stati-sotrudnikov-ooo-rank-2/programmnoe-obespechenie-rpak-dlya-avtomatizatsii-rascheta-parametrov-ankernoy-krepi/>. (дата обращения: 21.08.2020 г.)

79. Инжиниринг инновации безопасность горных работ. // [Интернет-портал]. <http://rank42.ru/services/nauchno-innovatsionnaya-deyatelnost/> (дата обращения: 21.06.2020 г.)

80. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах

Российской Федерации. // Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ от «17 декабря 2013» № 610. <http://www.gosnadzor.ru/public/discussion/acts/anker/> (дата обращения: 21.08.2020г.)

81. Приказ Ростехнадзора от 17.12.2013 N 610 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах" (Зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014 N 31354)

82. Демин В.Ф., Томилов А.Н. Методика расчета анкерной крепи глубокого заложения // Сагиновские чтения 2017. – Караганда: КарГТУ, 2018. – Вып. 9. – С. 67-69.

83. Халикова Э.Р., Жумабекова А.Е., Батырханова А.Т., Томилов А.Н. Методика расчета необходимой длины анкерного стержня // Международная научная конференция. «Найновите научни постижения», 2018. – София. – С. 1-5.

84. Оловянный А.Г. Некоторые задачи механики массивов горных пород // ФГУП «Межотраслевой научный центр» ВНИИМИ, ООО «Стресс» СПб, 2003. – 234 с.

85. Трушко В.Л., Протосеня А.Г., Матвеев П.Ф. и др. Геомеханика массивов и динамика выработок глубоких горизонтов // Санкт-Петербургский горный институт, СПб, 2000. – 396 с.

86. Опыт применения полимерных технологий на горнодобывающих предприятиях // Журнал: Горная промышленность, России.. Изд.: Научно-производственная компания "Гемос Лимитед". – Москва. № 4 (74), 2007. – С. 22–25 <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/945-opyt-primeneniya-polimernykh-tekhnologij-na-gornodobyvayushchikh-predpriyatiyakh-rossii>

87. Журнал: Горная Промышленность // <https://mining-media.ru/ru/search?searchword=анкер&searchphrase=all&start=45>.

88. Позолотин А.С., Розенбаун М. А., Ренев А. Метод расчета параметров анкерной крепи глубокого заложения для поддержания горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт // Уголь. Изд.: ООО "Редакция журнала "Уголь". – М., 2013. – № 4 (1045). – С. 32-35.

89. Квапил Р. Новые взгляды в теории горного давления и горных ударов (пер. с чешского). – М.: Угletteиздат, 1959. – С. 107.

90. Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н., Демин В.Ф. и др. Обоснование рациональной технологии закладочных работ на месторождении Секисовское. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых // – Россия, 2015. – № 3. – С. 72-81.

91. Прудников И. Аппроксимация и оптимизация липшицевых функций // – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. – 376 с.

92. Рассел, Джесси Обобщённый метод наименьших квадратов // Джесси Рассел. - М.: VSD, 2013. – 258 с.

93. Рагрин Н. Математическая обработка экспериментальных данных // Рагрин Николай. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 799 с.

94. Томилов А.Н., Демин В.Ф. Разработка автоматизированной системы проектирования технологических схем проведения горных выработок // Труды университета. – Караганда: КарГТУ, 2018. – Вып. 4. – С. 58-62.

95. Сертификат СИС № 224 от 18.10.2018г «Программа для ЭВМ. «Автоматизированная система проектирования технологических схем проведения горных выработок «Anker.kz». Авторы: Демин В. Ф., Томилов А.Н., Журов В.В.

96. Сертификат СИС № 2265 от 13.03.2019г «Программа для ЭВМ. «Автоматизация выбора схемы и расчета параметров крепления горных выработок». Авторы: Томилов А.Н., Жолнеров Д.И.
97. Патент на изобретение № 31096 Республики Казахстан. Сетчатая затяжка // Ибатов М.К., Исагулов А.З., Дёмин В.Ф., Мусин Р.А., Ахматнуров Д. Р., Исабек Т. К., Томилов А. Н. Дата регистрации в Государственном реестре изобретений Республики Казахстан 26.12.2019.
98. Демин В. Ф., Томилов А.Н. Автоматизация расчета технологических схем проведения горных выработок с анкерным креплением // Сагиновские чтения. – Караганда: КарГТУ, 2018. – Вып. 9. – С. 47-49.
99. Томилов А.Н., Демин В.Ф. Анализ средств автоматизации расчёта анкерной крепи на угольных шахтах // Сагиновские чтения. – Караганда: КарГТУ, 2017. – Вып. 9. – С. 141-143.
100. V.Demin, A. Tomilov, B. Sultanova. Automation of the design of the anchorage system taking into account the geomechanical state of the massif and mining development schemes // MATEC Web of Conferences 155, 01023 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815501023>
101. Томилов А.Н., Жолнеров Д.И. Компьютерное проектирование горных выработок с использованием технологии анкерного крепления // Сагиновские чтения, 2019. – Вып. 11. – С. 218-220.
102. A. Tomilov, N. Tomilova, A. Batyrkhanova. Development of technological schemes for conducting mine workings with the use of an anchorage with allowance for the stressed state of the rock massif // MATEC Web of Conferences 155, 01031 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815501031>
103. Черпаков, И.В. Основы программирования: Учебник и практикум для прикладного бакалавриата / И.В. Черпаков. – Люберцы: Юрайт, 2016. – С. 219.
104. Нотон, Патрик Java. Справочное руководство. Все, что необходимо для программирования на Java; М.: Бином - Москва, 2012. – 448 с.
105. Жемеров Д., Исакова С. Kotlin в действии. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 402с.
106. IntelliJ Idea Documentation: [Электронный ресурс] // LEARN AND SUPPORT URL: <https://www.jetbrains.com/idea/documentation/>. (Дата обращения: 12.03.2019).
107. JavaFX: [Электронный ресурс] // Wikipedia – The Free Encyclopedia.: <https://ru.wikipedia.org/wiki/JavaFX>. (Дата обращения: 05.03.2020).

Приложения

Акт натурных испытаний за смещением породных массивов горных выработок УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

АКТ

натурных наблюдений за смещениями породного массива вблизи
вентиляционного штрека 49к7-з, конвейерного бремсберга 44бк10-з

1. Общая часть

Целью настоящих экспериментальных наблюдений за смещениями породного массива вблизи горных выработок на шахте им. Костенко является анализ полноты горно-геологического прогноза и выявление аномальных опасных зон, а также анализ геомеханической обстановки.

Вентиляционный штрек 49к7-з (таблица 1) проводится по пласту к7, общей мощностью 1,7-2,05 м, при угле падения – 3°-7°. Пласт опасен по газу и пыли, по внезапным выбросам угля и газа, не склонен к самовозгоранию. Обводненность пласта до 2-3 м³/ч, природная газоносность – 7-12 м³/т.

Породы кровли пласта представлены аргиллитами мощностью 0,5-0,7 м и алевролитами мощностью 3,1 м.

Непосредственная кровля средней устойчивости. Крепость аргиллитов – 2,2, алевролитов – 3,4 по шкале проф. Протодяконова. Основная кровля средней устойчивости, песчаник, мощностью до 26,2 м, крепостью 5,4-5,5 по шкале проф. Протодяконова.

Породы почвы пласта к7 сложены алевролитами мощностью 2,5 м, крепостью 3 по шкале проф. Протодяконова.

Конвейерный бремсберг 44бк10-з проводится по пласту к10 – см. таблица 1.

Угол падения пласта 5°-7°. Пласт состоит из семи угольных пачек, разделенных прослойкой аргиллита мощностью 0,05-0,3 м.

Породы кровли пласта к10 представлены переслаиванием аргиллита /алевролита и песчаником мощностью 28 м, непосредственная кровля пласта представлена аргиллитом мощностью 3 м. Крепость: аргиллит 2,2-2,5; алевролит 3,6-3,9; песчаник 5,9-6,8 по шкале проф. Протодяконова. Породы почвы пласта – аргиллит, мощностью до 2,5 м.

2. Результаты испытаний

Анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения вентиляционного штрека 49к7-з показал, что среди факторов, оказывающих неблагоприятное влияние отмечены влияния зон повышенного горного давления, геологических нарушений типа «разрыв» и опасных зон от геологоразведочных скважин.

Конвейерный бремсберг 44бк10-з, основная почва – алевролит. Почва склонна к пучению. Пласт опасен по газу и пыли, относится к угрожаемому по внезапным выбросам угля и газа, склонен к самовозгоранию.

Анализ горно-геологических и горнотехнических условий проведения горных выработок показал, что среди факторов, оказывающих неблагоприятное влияние отмечены влияния зон повышенного горного давления, геологических нарушений типа «разрыв» и опасных зон от геологоразведочных скважин. В геомеханическом отношении условия проведения горные выработки осложнены факторами, представлены в таблица 1.

R_{ck} на 1,5В		33.24 МПа
Длина анкера, м	2,4	2,4
Плотности установки анкеров, $\frac{анк}{м^2}$	1,35	1,36
Расстояние между анкерами в ряду, м	0,86	0,86
Количество анкеров в ряду	6	6
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), м	1	1,01
<i>Рамная металло-арочная крепь</i>		
Плотность установки рамной крепи, рам/м	0,8	0,85
Плотность установки рамной крепи при комбинированном виде, рам/м	0,4	0,47
Сбойка №3 46кк, шахта им. Костенко.		
Конструкция крепления: Комбинированное крепление (рамы+анкеры)		
<i>Анкерное крепление</i>		
U_t , мм	250	265,05
U_m , мм	187,5	218,67
R_{ck} на 0,5В	25,17 МПа	22,17 МПа
R_{ck} на 1,5В	17,27 МПа	17,39 МПа
Длина анкера, м	2,83	2,6
Плотности установки анкеров, $\frac{анк}{м^2}$	2,05	1,53
Расстояние между анкерами в ряду, м	0,79	0,81
Количество анкеров в ряду	7	7
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), м	1	1,01
<i>Рамная металло-арочная крепь</i>		
Плотности установки рам металлической податливой крепи, рам/м	1,2	1,14
Плотность установки рамной крепи при комбинированном виде, рам/м	0,55	0,6

Начальник отдела геопрогноза и геомеханики



Д.В. Сон

Представители КарГТУ

В.Ф. Демин

А.Н. Томилов

**Акт внедрения
Программного комплекса на УД АО «АрселорМиттал Темиртау»**

АКТ

об использовании результатов научной работы Томилова А.Н. «Обоснование параметров крепления горных выработок с использованием технологии анкерного крепления»

На программном комплексе, созданном на основе разработанной методики расчёта и обоснования параметров анкерной крепи, адаптированной к условиям эксплуатации шахт Карагандинского угольного бассейна, разработанные технологические решения по расчёту и обоснованию параметров анкерного крепления для горных выработок шахт УД АО «АрселорМиттал Темиртау», представленные в диссертационной работе Томилова А.Н., в настоящее время проходят промышленную апробацию в горных выработках на шахтах им. Костенко и «Шахтинская» УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

Начальник отдела геопрогноза
и геомеханики
УД АО «АрселорМиттал Темиртау»



Д.В. Сон

Акт расчета и обоснования параметров анкерного крепления для условий эксплуатации шахт УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

АКТ апробации Программного комплекса расчета и обоснования параметров анкерного крепления для условий горных выработок шахт УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

Рентабельность и безопасность отработки угольных пластов в значительной степени могут быть повышены за счет совершенствования технологии крепления горных выработок.

Анкерная крепь увеличивает объемы применения ресурсосберегающих способов крепления, позволяет при использовании высокопроизводительного бурового оборудования ускорить процесс проходки выработок, снизить стоимость их проведения и расширить область применения анкерной крепи.

Разработанный Программный комплекс «Автоматизированная система проектирования технологических схем проведения горных выработок» предназначен для расчета и обоснования параметров анкерного крепления для условий горных выработок шахт УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

С помощью данного программного комплекса был произведен расчет, обоснование параметров анкерного крепления и выполнен сравнительный анализ с расчетами УД АО «АрселорМиттал Темиртау» для горных выработок: вентиляционный бремсберг 11_{Д1-2}, монтажная камера 44_{БК12-1-3} шахты им. Костенко, вентиляционный бремсберг 44_{КЗ-В}, сбойка №3 46_{БК1} им. Костенко.

Анализ результатов расчета параметров анкерного крепления данных выработок показал, что полученные параметры и конструкции анкерного крепления с достаточно высокой точностью соответствуют расчетам УД АО «АрселорМиттал Темиртау» (табл.1)

Таблица 1 Апробации Программного комплекса расчета и обоснования параметров анкерного крепления для условий горных выработок шахт УД АО «АрселорМиттал Темиртау»

	УД	Программный комплекс
Вентиляционный бремсберг 11д-2, шахта «Шахтинская»		
Конструкция крепления: Самостоятельное анкерное крепление		
<i>Крепление кровли</i>		
U _т , мм	40	54,79
U _м , мм	30,1	41,9
R _{ск} на 0,5В	35,1 МПа	35,1 МПа
Длина анкера, м	2,4	2,4
Плотности установки анкеров, $\frac{\text{анк}}{\text{м}^2}$	0,55	0,55
Расстояние между анкерами в ряду, м	1,35	1,35
Количество анкеров в ряду	4	4
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), м	1,6	1,66
<i>Крепление боков выработки</i>		
Rсб	10 МПа	9,99
Длина анкера, м	1,3	1,56
Расстояние между анкерами в боках, м	1,4	1,36
Количество анкеров в ряду в боках, шт	2	2
Удельная расчетная нагрузка на боковые анкера P _{а.б} Мпа	40	42,99
Монтажная камера 44БК12-1-3, шахта им.Костенко		
Конструкция крепления: Комбинированное крепление (рамы+анкеры)		
<i>Анкерное крепление</i>		
U _т , мм	75	86,5
U _м , мм	51	58,72
R _{ск} на 0,5В	23,4 МПа	23,4 МПа
R _{ск} на 1,5В	21,6 МПа	21,68 МПа
Длина анкера, м	2,3	2,4
Плотности установки анкеров, $\frac{\text{анк}}{\text{м}^2}$	1,33	1,33
Расстояние между анкерами в ряду, м	0,87	0,87
Количество анкеров в ряду	6	6
Шаг установки анкерной крепи (расстояние между рядами анкеров), м	1,3	1,3
<i>Рамная металло-арочная крепь</i>		
Плотность установки рамной крепи, рам/м	0,8	0,85
Плотность установки рамной крепи при комбинированном виде, рам/м	0,4	0,47
Вентиляционный бремсберг 44кз-в, шахта им. Костенко.		
Конструкция крепления: Комбинированное крепление (рамы+анкеры)		
<i>Анкерное крепление</i>		
U _т , мм	165	146,39
U _м , мм	123,75	109,79
R _{ск} на 0,5В	31,32 МПа	31,32 МПа
	УД	Программный комплекс

Таблица 1 – Опасные факторы при проведении горных выработок

Наименование выработки	Опасные факторы	Привязка	Возможные влияния
Вентиляционный штрек 49к-3 (западное направление)	Опасная зона от геологического нарушения, возможность размыва, Н=0,6 м	ПК17-18	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой.
	Опасная зона от геологического нарушения, возможность размыва, Н=1,5 м	—	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой.
Вентиляционный штрек 49к-3 (восточное направление)	Опасная зона от геологического нарушения, возможность размыва, Н=1,5 м	ПК 2-4	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой.
	Зона ПГД от пласта К ₁₀	ПК 41-72	Усиление давления на крепь, возможны обрывы кровли
	Геологоразведочная скважина № 5758	—	Возможно разовое увеличение притока воды, местное ослабление горных пород.
	Опасная зона от геологического нарушения, возможность размыва, Н=0,5 м	ПК 53-54	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой.
	Геологоразведочная скважина № 20959а	ПК53-65	Возможно разовое увеличение притока воды, местное ослабление горных пород.
Конвейерный бремсберг 446к	Опасная зона от геологического нарушения, Н=1 м, Н=3 м	ПК14-18 ПК28-33	Ослабление вмещающих пород; замещение части пласта породой, повышение газовыделения
	Зона ПГД от пласта К	ПК29-45	Усиление давления на крепь, возможны обрывы кровли
	Опасная зона у геологоразведочной скважины №2376	ПК39-45	Возможно разовое увеличение притока воды, местное ослабление пород кровли

Выводы по результатам натурных наблюдений:

- 1) Интенсивная фаза деформаций пород приконтурного массива приходится на первые сутки с момента образования обнажения, в дальнейшем происходит постепенное снижение интенсивности смещений;
- 2) В зонах влияния повышенного горного давления наблюдалось увеличение интенсивности смещения на 10 - 15 %;
- 3) Суммарные смещения кровли при применении анкерной крепи не превышают 30 мм;
- 4) Суммарные горизонтальные смещения пород боков выработок не превышают 100 мм, что является допустимым при применении анкерной крепи;
- 5) Оценка результатов натурных наблюдений показала, что величина смещений пород кровли зависят от мощности слабых пород, залегающих в непосредственной и основной кровле;

Начальник отдела геопрогноза и геомеханики

Менеджер по подземной сейсмическому прогнозу



Д.В. Сон

Р.Р. Рахматуллаев

Патент РК. Сетчатая затяжка



Права на объекты, охраняемые авторским правом.
Программа для ЭВМ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ
МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІЛІМГЕ МӘЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ

КУӘЛІК

2018 жылғы «18» қазан № 224

Автордың (лардың) жөні, аты, әкесінің аты (егер ол жеке басын куәландыратын құжатта көрсетілсе):
ТОМЫГОВА НАДЕЖДА ИВАНОВНА, ДЕМІН ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ, ТОМЫГОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, ЖИРОВ ВИТАЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Авторлық құқық объектісі: ЗЕМ-ге арналған бағдарлама
Автоматизированная система проектирования технологических схем проведения

Объектінің атауы: горных выработок «Alpkeg.KZ»

Объектіні жасаған күні: 12.01.2018

СВИДЕТЕЛЬСТВО
О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР
ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ

№ 224 от «18» октября 2018 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):
ТОМЫГОВА НАДЕЖДА ИВАНОВНА, ДЕМІН ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ, ТОМЫГОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, ЖИРОВ ВИТАЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Вид объекта авторского права: программа для ЭВМ
Автоматизированная система проектирования технологических схем проведения

Название объекта: горных выработок «Alpkeg.KZ»

Дата создания объекта: 12.01.2018

Құжат түпнұсқасын <http://www.kazpatent.kz/> сайтының
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады. <https://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте kazpatent.kz
в разделе «Авторское право» <https://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП
Оспанов Е. К.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АТҚАЛЫҚ АУЫСЫМ ҚҰҚЫҚЫ
ҚАЗАХСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АТҚАЛЫҚ АУЫСЫМ ҚҰҚЫҚЫ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

**АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ
МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІЛІМГЕ МӘЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ**

КУӘЛІК

2019 жылғы « 13 » наурыз № 2265

Автордың (лардың) жөні , аты, әкесінің аты (егер ол жеке басын куәландыратын құжатта көрсетілсе):

ЖОЛНЕРОВ ДМИТРИЙ ИГОРЕВИЧ; ТОМИЛОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ; ТОМИЛОВА НАДЕЖДА ИВАНОВНА

Авторлық құқық объектісі: ЭЕМ-ге арналған бағдарлама

Объектінің атауы: Автоматизация выбора схемы и расчета параметров крепления горных выработок

Объектіні жасаған күні: 09.10.2018

СВИДЕТЕЛЬСТВО

**О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР
ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

№ 2265 от « 13 » марта 2019 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):

ЖОЛНЕРОВ ДМИТРИЙ ИГОРЕВИЧ; ТОМИЛОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ; ТОМИЛОВА НАДЕЖДА ИВАНОВНА

Вид объекта авторского права: программа для ЭВМ

Название объекта: Автоматизация выбора схемы и расчета параметров крепления горных выработок

Дата создания объекта: 09.10.2018



Құжат түпнұсқасын <http://www.kazpatent.kz/ru> сайтының
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады <https://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте kazpatent.kz
в разделе «Авторское право» <https://copyright.kazpatent.kz>

Таблица В.1 – Мировые доказанные запасы угля

Страна	Каменный уголь, (млн т)	Лигниты, (млн т)	Всего	Доля мирового запаса, %
США	221400	30182	251582	22,1%
Китай	230004	14006	244010	21,4%
Россия	69634	90730	160364	14,1%
Австралия	68310	76508	144818	12,7%
Индия	89782	4987	94769	8,3%
Германия	12	36200	36212	3,2%
Украина	32039	2336	34375	3,0%
Казахстан	25605	0	25605	2,2%
Индонезия	17326	8247	25573	2,2%
Польша	18700	5461	24161	2,1%
Турция	378	10975	11353	1,0%
Южная Африка	9893	0	9893	0,9%
Новая Зеландия	825	6750	7575	0,7%
Сербия	402	7112	7514	0,7%
Бразилия	1547	5049	6596	0,6%
Канада	4346	2236	6582	0,6%
Колумбия	4881	0	4881	0,4%
Чешская республика	1103	2573	3676	0,3%
Вьетнам	3116	244	3360	0,3%
Пакистан	207	2857	3064	0,3%
Греция	0	2876	2876	0,3%
Узбекистан	1375	0	1375	0,1%
Другие	13691	7631	21322	2,6%
Всего	816214	323117	1139331	100,0%

Наблюдения за выработками на предмет их дефектности

Таблица В.2 – Горно-технологические характеристики горных выработок

№	Наименование выработки	Проектные			Фактические средние			Форма сечения	Вид крепления	Угол заложения выработки относительно направления север-юг, град
		Ширина	Высота	Сечение	Ширина	Высота	Сечение			
		<i>a</i> _{пр} , м	<i>h</i> _{пр} , м	<i>S</i> _{пр} ., м ²	<i>a</i> _{ср.ф.} , м	<i>h</i> _{ср.ф.} , м	<i>S</i> _{ср.ф.} , м ²			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Шахта им. Костенко									
1	Южный конв.штрек к12	5.20	3.55	14.40	4.34	2.89	9.91	арочная	металл	21
2	Вент.сбойка 46к7-з №3	5.00	3.00	15.00	5.01	2.89	12.06	трапеция	анкер	150
3	Вент.сбойка 44к7-з	5.00	3.00	15.00	4.95	3.28	16.23	трапеция	анкер	30
4	Вент.сбойка 45к7-з №2	5.00	3.00	15.00	4.74	2.77	13.12	трапеция	анкер	140
5	Монт.камера 45к7-з	5.00	3.00	15.00	5.51	2.47	13.60	трапеция	анкер	151
6	Вост.вент. штрек к3	5.00	3.00	15.00	5.32	3.45	18.48	трапеция	МАК	13
	Шахта им. Кузенбаева									
7	Монт.ходок 32к8-7-з	4.75	3.43	12.80	4.48	2.95	11.15	арочная	мет.сетка	146
8	Монт.камера 33к8-7-з	6.00	2.90	15.70	6.08	2.85	15.42	спец. сеч.	металл	140
9	Конв. бр-г 31к7-в	5.00	3.00	15.00	5.15	3.05	15.70	прямоуг	анкер	147
	Шахта «Саранская»									
10	Сбойка №2	5.20	3.55	14.40	5.10	2.90	11.80	арочная	металл	152
11	Конв.уклон пл.к10	5.20	3.55	14.40	4.40	2.90	10.40	арочная	МАК	171
12	Водосборник VII гор.	4.60	3.50	16.10	4.20	3.20	13.40	прямоуг.	анкер	343
13	Конв.уклон к10 VII гор.	4.20	3.40	14.40	4.50	3.00	13.90	прямоуг	анкер	150
	Шахта «Абайская»									
14	Вент.ходок к12	5.20	3.55	14.40	5.00	3.42	14.88	арочная	металл	12
15	Вент.сбойка 21к12-с	5.20	3.55	14.40	5.20	3.28	14.88	арочная	металл	12
16	Вент.штрек 32к10-с	4.20	3.10	10.30	4.04	2.76	9.65	арочная	мет.,МАК	191
17	Конв.штрек 21к12-с	4.50	3.30	14.85	4.72	3.16	14.94	трапеция	анкер	152
	Шахта «Шахтинская»									
18	Трапец.штрек 323дб-ц	5.20	3.50	14.40	5.09	3.43	14.34	арочная	металл	357
	Шахта «Казахстанская»я									
19	Монт.камера 324дб-1-в	6.00	3.00	18.00	6.09	3.02	18.36	прямоуг	анкер	158
20	Пор.конв.уклон дб г.-170	5.00	3.00	15.00	5.18	2.83	14.63	прямоуг	анкер	142
	Шахта «Тентекская»									
21	Конв.уклон 211А-дб-ю	5.20	3.30	14.40	4.97	3.04	12.08	арочная	металл	28
22	Пор.конв.уклон дб г.+0	5.00	3.50	17.50	5.03	3.25	16.34	трапеция	анкер	28
	Шахта им. Костенко									
23	4 вост.конв.штрек к7	5.20	3.55	14.40	4.96	3.02	11.68	арочная	металл	84
24	Конв.квершлаг к7	5.00	3.00	15.00	4.75	2.71	12.94	трапеция	анкер	78
25	Вост.вент.штрек к2к3	5.00	3.00	15.00	5.18	3.40	17.59	трапеция	МАК	60
26	Конв.пром.штрек 45к7-з	5.00	3.00	15.00	4.91	2.91	14.40	трапеция	анкер	55
	Шампа им.Кузенбаева									
27	Конв.штрек 33к8-7-з	5.00	3.00	15.00	4.96	3.00	14.88	прямоуг	анкер	56
		5.00	3.00	15.00	4.99	3.39	14.39	арочная	металл ЗМП	
28	Конв.штрек 32к7-з	5.00	3.00	15.00	4.89	2.91	14.25	прямоуг	анкер	55
29	Разр.печь 36к10-в	4.20	3.00	11.30	4.26	2.85	11.20	спец. сеч.	мет.анкер, ЗМП, сетка	118
30	Вент.штрек 41к10-в	4.75	3.43	12.80	4.56	2.97	11.54	арочная	металл	85
31	Разр.печь 31к7-в	5.80	2.80	16.20	5.50	2.90	15.80	прямоуг	анкер	55
32	Конв.штрек 33к7-з	5.00	3.00	15.00	4.90	3.00	14.70	прямоуг	анкер	55
33	Конв.уклон 30к7-з	5.00	3.00	15.00	4.60	3.00	13.80	прямоуг	анкер	149
34	Вент.штрек 32к7-з	5.00	3.00	15.00	4.00	2.60	10.40	прямоуг	анкер	58
35	Вент.квершлаг 33к7-з	5.00	3.00	15.00	4.70	2.80	13.40	прямоуг	анкер	104

Продолжение Таблицы В.2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Шахта «Саранская»									
36	Конв.штрек 61к12-в	5.20	3.55	14.40	4.10	2.70	8.80	арочная	МАК	61
37	Конв.штрек 64к10-в	5.30	3.50	14.40	4.80	2.90	11.60	арочная	металл	53
38	Вент.штрек 64к10-в	5.30	3.50	14.40	3.60	2.30	7.50	арочная	металл	53
39	Конв.штрек 71 к10-в	5.30	3.50	14.40	4.80	2.80	11.70	арочная	МАК	53
40	Накл.вент.кв-г г.-125	4.60	3.50	16.10	4.73	3.00	14.21	прямоуг	анкер	59
	Шахта «Абайская»									
41	2 цент.конв.ходок к12	3.60	3.00	8.50	3.32	2.75	8.06	арочная	металл	101
		5.20	3.55	14.40	4.96	3.05	13.70	арочная	металл	
42	Вент.уклон к10	4.50	3.30	14.85	5.03	2.88	14.50	трапеция	анкер	130
	Шахта «Шахтинская»									
43	Вент.уклон д6 г-125	5.20	3.50	14.40	5.09	3.19	13.39	арочная	металл	94
44	Накл.вен.кв-г г.-125	5.20	3.50	14.40	4.84	3.15	12.59	трапеция	анкер	90
	Шахта им. Ленина									
45	Конв.штрек 3.03д6-1-з	5.20	3.50	14.40	5.21	3.08	13.95	арочная	металл	110
46	Гр.-л. ходок д10г.-170	5.20	3.50	14.40	4.84	2.88	12.40	арочная	металл	85
		5.40	3.90	17.20	5.24	3.59	16.37	арочная	МАК	
	Шахта «Казахстанская»									
47	Откат 211 д11-з	5.20	3.16	14.40	4.93	3.02	12.39	арочная	металл	58
48	Конв.сбойка 293д10-в	5.44	3.55	14.50	4.76	2.86	11.35	арочная	металл	285
49	Газодр.штрек 324д7-в	5.00	3.00	15.00	4.73	3.06	14.48	прямоуг.	анкер	65
	Шахта «Тентекская»									
50	Откат кв-г т3-д9г.+280	3.60	3.00	8.50	3.43	2.48	6.63	арочная	металл	85
		4.20	3.10	10.30	4.00	2.40	7.45	арочная	металл	
		5.20	3.30	14.40	5.03	3.11	12.34	арочная	металл	
51	Вент.сбойка 193д6-с	4.80	3.30	13.10	4.65	3.24	11.86	арочная	металл	53

Таблица В.3 –Характеристики горных выработок

№	Наименование выработки	Расположение выработок		В зоне влияния очистных работ или нет	Пласт	Срок службы	Глубина проведения, Н	Мощность пласта, м	Угол проведения выработки, α	Угол падения пласта, α
		в целике	в присеч- ку							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Шахта им. Костенке									
1	Южный конв.штрек к12	+	—	+	к12	6 лет 7 мес	200	7.4	6	5
2	Вент.сбойка 46к7-з №3	+	—	—	к7	4 мес	650	1.8	4	7
3	Вент.сбойка 44к7-з	+	—	—	к7	3 года	652	1.6	0	12
4	Вент.сбойка 45к7-з №2	+	—	—	к7	3 года	637	1.8	5	11
5	Монт.камера 45к7-з	+	—	—	к7	2 года	637	1.9	7	7
6	Вост.вент. штрек к3	+	—	—	к3	2 года	500	3.1	1	7
	Шахта им.Кузенбаева									
7	Монт.ходок 32к8-7-з	+	—	+	к8-7	1 год 8 да	368	2.73	11	11
8	Монт.камера 33к8-7-з	+	—	—	к8-7		380	2.73	11	11
9	Конв. бр-г 31к7-в	+	—	—	к7	3 года	440	1.36	12	13
	Шахта «Саранская»									
10	Сбойка №2	+	—	—	к10	1 год 6 мес	636	2.83	15	16
11	Конв.уклон пл.к10	+	—	—	к10	3 мес	352	4.6	2	12
12	Водосборник VII гор.	+	—	—	к10	3 мес	735	3.1	0	14
13	Конв.уклон к10 VII гор.	+	—	—	к10	3 мес	725	3.1	13	14

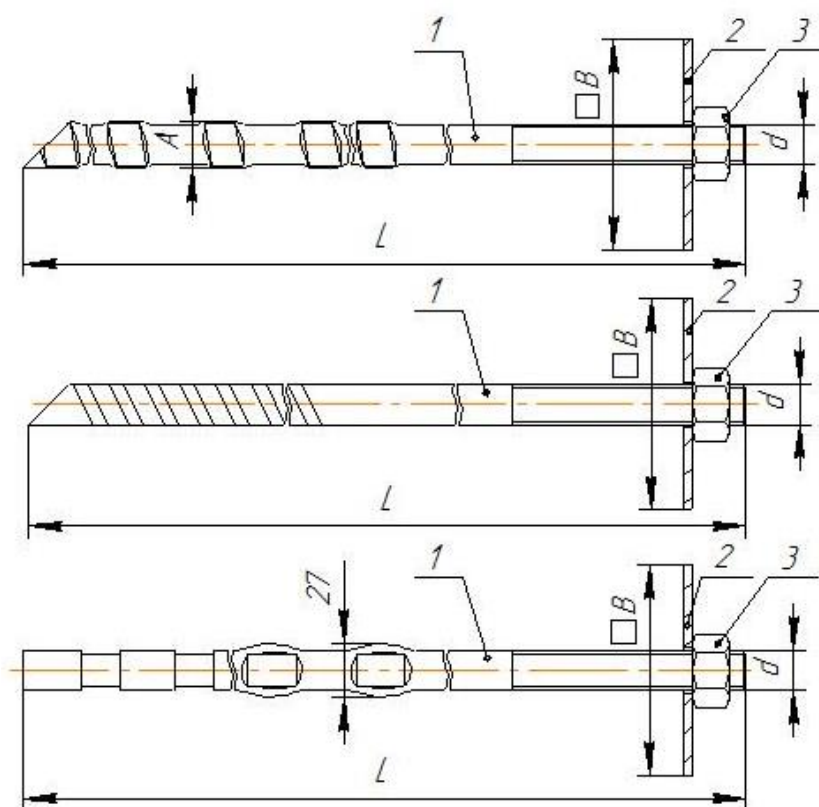
Продолжение таблицы В.3

	1	2	3	4		5	6	7	8	
				Шахта «Абайская»						
14	Вент.ходок к12	+	–	–	к12	9 мес	338	5.78	13	16
15	Вент.сбойка 21к12-с	+	–	–	к12	8 мес	280	3.65	12	16
16	Вент.штрек 32к10-с	+	–	–	к10	1 год	450	4.5	0-6	15
17	Конв.штрек 21к12-с	+	–	+	к12	1год	300	5.4	1	18
				Шахта «Шахтинская»						
18	Трапец.штрек 323д6-ц	*	–	+	д6	6 мес	051	I 4.55	7-12	12
				Шахта «Казахстанская»						
19	Монт.камера 324д6-1-в	+	–	+	д6	1 год	540	5.5	17	16
20	Пор.конв.уклон д6 г.-170	+	–	–	д6	30 лет	640	5.2	8-14	14
				Шахта «Тентекская»						
21	Конв.уклон 211А-д6-ю	+	–	–	д6	6 лет 7мес	450	5.2	13	19
22	Пор.конв.уклон д6 г.+0	+	–	–	д6	2 года	318	4,50	13	
				Шахта им. Костенко						
23	4 вост.конв.штрек к7	+	–	–	к7	23 года 5 мес	680	1.80	5-12	8
24	Конв.квершлаг к7	+	–	–	к7	4 года	670	1.6	6	
25	Вост.вент.штрек к2к3	+	–	–	к2 к3	10 мес	493	3-5	10	7
26	Конв.пром.штрек 45к7-	+	–	–	к7	4 года	630	1.8	0	3-7
				Шахта им.Кузенебаева						
27	Конв.штрек 33к8-7-з	+	–	+	к8-7	8 мес	423	2.60	1-4	16
							423	2.60	1-4	16
28	Конв.штрек 32к7-з	+	–	+	к7	2 года 4 мес	318	2.05	1-3	9
29	Разр.печь 36к10-в	+	–	+	к10	1 год 3 мес	422	3.09	7	7
30	Вент.штрек 41к10-в	+	–	–	к10	5 лет 9мес	475	2.53	1-12	8-13
31	Разр.печь 31к7-в	+	–	–	к7	2 года	290	1.8	2	11
32	Конв.штрек 33к7-з	+	–	–	к7	5 лет	400	1.8	1	7
33	Конв.уклон 30к7-з	+	–	–	к7	7 лет	393	1.8	7	7
34	Вент.штрек 32к7-з	+	–	+	к7	2 года	317	2	4	7
35	Вент.квершлаг 33к7-з	+	–	–	к7	6 лет	398	2	10	0
				Шахта «Саранская»						
36	Конв.штрек 61к12-в	+	–		к12	7 мес	к12	Ж	537	5.02
37	Конв.штрек 64к10-в	+	–	+	к10	1 год 11 мес	620	3,10	5	14
38	Вент.штрек 64к10-в	-	+	+	к10	9 мес	620	3,10	6	14
39	Конв.штрек 71 к10-в	+	–	–	к10	10 мес	633	3	4	10-15
40	Накл.вент.кв-г г.-125	+	–	–	к10	4 мес	734	3.09	10	
				Шахта «Абайская»						
41	2 цент.конв.ходок к12	+	–	–	к12	1 год	261	5,70	19	20
							261	5,70	19	20
42	Вент.уклон к10	+	–	–	к10	3 года	500	4.5	8	10
				Шахта «Шахтинская»						
43	Вент.уклон д6 г-125	+	–	–	д6	3 года 5 мес	417	4,30		15
44	Накл.вен.кв-г г.-125	+	–	–	д6	4 года	560	6.9	4-16	
				Шахта им. Ленина						
45	Конв.штрек 3.03д6-1-з	+	–	–	д6	4 года 4 мес	619	5.8	7	
46	Гр.-л. ходок д10г.-170	+	–	+	д10	5 лет	590		10	
				Шахта «Казахстанская»						
47	Откат 211 д11-з	+	–	–	д11	1 год	470	1,10	0	
48	Конв.сбойка 293д10-в	+	–	+	д10	1 год	397	1.25	13	12
49	Газодр.штрек 324д7-в	+	–	–	д7	30 лет	580	5.15	4	12
				Шахта «Тентекская»						
50	Откат кв-г т3-д9г.+280д9г.+280	+	–	+	т3-д9	26 лет	462		0	
							462		0	
							462		0	
51	Вент.сбойка 193д6-с	+	–	+	д6	5 мес	338	4	17	15

Анкеры, применяемые на угольных шахтах

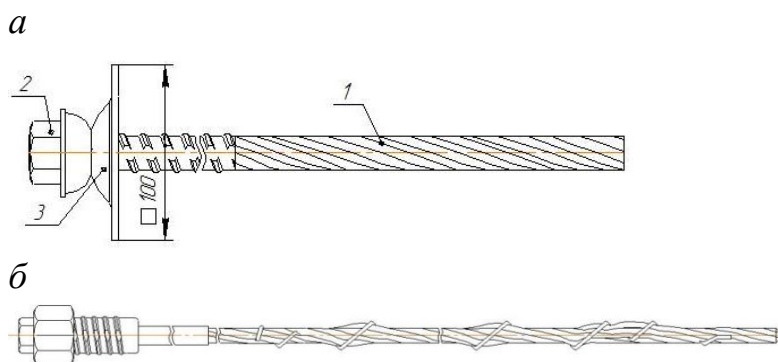
Таблица Г.1 – Характеристика анкеров, рекомендуемых к применению на угольных шахтах

№ п/п	Тип анкера	Конструктивное наименование	Область применения
1	Сталеполимерные из проката винтового профиля	A16B, AKM AB16	Уголь при $R_c \geq 6$ МПа, порода при $R_c \geq 10$ МПа, подвеска монорельсовых дорог
		A20B, AK20B, AKM AB20, АКВ, AB20П, АСП20В	
		A25B, AKM AB25	
2	Сталеполимерные из круглого стального профиля	АСП-20 АСП-24, АКС-20, АКМ АМ20,	Уголь при $R_c \geq 6$ МПа, порода при $R_c \geq 20$ МПа
		AKM AM16	
3	Сталеполимерные из проката периодического профиля	AK-22 AKC-22, AKM AM16 (20,25)	Уголь при $R_c \geq 6$ МПа, порода при $R_c \geq 10$ МПа
4	Сталеполимерный со сварными стержнями	AKM16, AKM20, AKM25	Уголь при $R_c \geq 6$ МПа, порода при $R_c \geq 10$ МПа
5	Канатные	AK01, AK02, AK01-08 (-14, -25, - 32),	В породе и угле.
		КАГ-20	В породе. В борту выработки
		АС-25В	
6	Сталеминеральные	AKM AB, AKM AM, AKM	В породе и угле
		АСМ-1, АСМ-2	В породе
7	Сталеорганический		В породе и угле при $R_c \geq 40-50$ МПа
8	Металлический замковый	ШК-1М	Уголь при $R_c > 8$ МПа
			Порода при $R_c \geq 40$ МПа
9	Полимерные	БПА	В породе и угле
10	Анкер для подвески МПД	AK01-121 AK01-125 AK01-25 совместно с гайкой-подвесом	В породе и угле



<i>L, мм</i>	<i>d, мм</i>	<i>A, мм</i>	<i>Разрывное усилие, кН</i>	<i>Допускаемая нагрузка, кН</i>	<i>Удлинение, %</i>	<i>Масса, кг</i>
1600	<i>M20</i>	<i>23</i>	<i>100</i>	<i>60</i>	<i>3...4</i>	<i>4,1</i>
1800						<i>4,6</i>
2000						<i>5,1</i>
2100						<i>5,4</i>
2300						<i>5,9</i>
2500						<i>6,4</i>
3000						<i>7,6</i>
1600	<i>M24</i>	<i>27</i>	<i>140</i>	<i>85</i>		<i>5,8</i>
1800						<i>6,5</i>
2000						<i>7,2</i>
2100						<i>7,6</i>
2300						<i>8,3</i>
2500						<i>9,0</i>
3000						<i>10,0</i>

Рисунок Г.1 – Сталеполимерные анкеры АСП, АКМ, АМ из прокатов круглого профиля: 1 – стержень анкера; 2 – шайба опорная; 3 – гайка. Материал стержня – ВСт3. В = 60...100 мм



Наименование	<i>L</i> , мм	Диаметр стержня, мм	Допустимая нагрузка, кН	Удлинение, %	Масса, кг
АК01-08	2000	9,35	80	<1,3	1,85
	3000				2,3
	4000				2,7
АК01-14	3000	12,4	145		4,5
	4000				5,2
	5000				6,0
	6000				6,7
	7000				7,4
АК01	3000	15,2	210		5,5
	4000				6,6
	5000				7,7
	6000				8,8
	7000				9,9
	8000				11,0
	9000				12,1

Рисунок Г.2 – Общий вид канатных анкеров. *а* – канатный анкер АК01 (-08, -14) для химических и минеральных скрепляющих составов; *б* – канатный анкер КАГ-20. 1 – стержень анкера сварной, 2 – гайка, 3 – шайба опорная

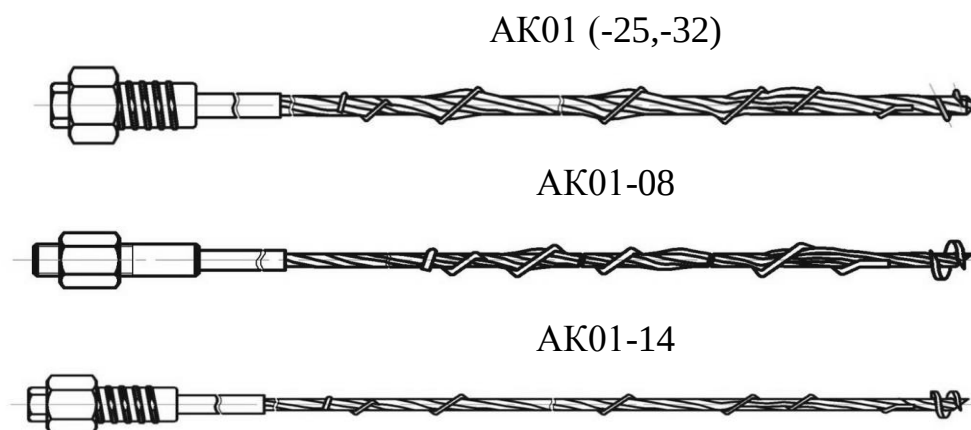


Рисунок Г.3. Общий вид канатных анкеров типа АК01



Рисунок Г.4. Общий вид канатного анкера типа АК02. Предназначен для ампульно-нагнетательного или нагнетательного закрепления



Рисунок Г.5. Канатный анкер АК01-121 (125) Предназначен для подвешивания монорельсовой подвесной дороги



Рисунок Г.6. Канатный анкер АК01-25 с гайкой-подвесом. Предназначен для упрочнения пород кровли и подвешивания МПД

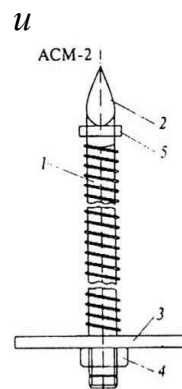
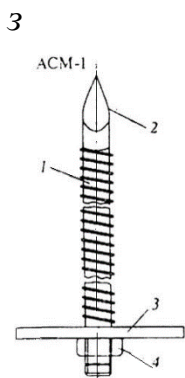
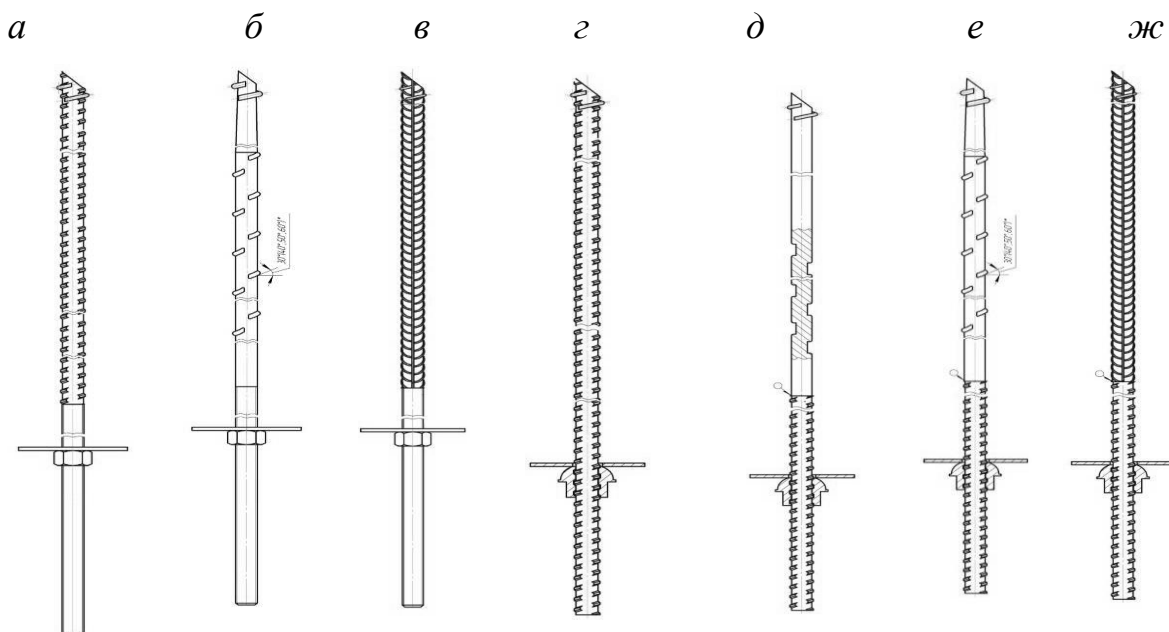


Рисунок Г.7 – Общий вид анкеров, в том числе применяемых для крепления ампулами с минеральной композицией. а, б, в– анкер типа АМК АМ; г – анкер типа АМК АВ; д, е, ж – анкер типа АМК; з – АСМ-1; и – анкер АСМ-2

Характеристики горно-шахтных крепей «Safe technologies in industry»

Крепь анкерная фрикционная: Омега Болт, Фрикшн Лок (Таблицы Г.2 – Г.3).

Применение:

- 1) Крепление горных пород в горной промышленности и туннелестроении;
- 2) Система управления горным массивом разработана для надежного крепления горных пород. С увеличением горизонтального сдвига пород анкер увеличивает несущую способность;
- 3) Крепь анкерная производится без покрытия и с гальваническим покрытием для агрессивных условий эксплуатации.

Таблица Г.2 – Характеристики анкерной крепи Омега Болт

Наименование показателя/Тип анкера	EFB-120	EFB-160	EFB-240
Несущая способность, кН	100	130	200
Характерное разрывное усилие, кН	130	170	250
Номинальное разрывное усилие, кН	120	160	240
Характерная предельная деформация, %	15	15	15
Номинальная предельная деформация, %	10	10	10
Доступная длина, м	1,0 – 8,0		

Таблица Г.3 – Характеристики анкерной крепи Фрикшн Лок

Наименование показателя/Тип анкера	FL-39	FL-46 (47)
Рекомендуемый номинальный диаметр буровой коронки, мм	35-36	42-46
Разрывное усилие, тН	14	16
Предел текучести, тН	12	14
Рекомендуемая несущая способность, тН/м	2,46-3,28	0,5-4,92
Доступна любая длина анкера в пределах указанного диапазона, м	0,5-3,28	0,5-4,92

Преимущества:

- полная несущая способность сразу после установки по всей длине анкера;
- низкая чувствительность к вибрациям, возникающим при взрывных работах;
- сохраняет несущую способность даже при деформации горного массива;
- безопасная и легкая установка;
- не требует дополнительных строительных материалов для установки;
- возможность установки в шпуров различного диаметра;
- безопасная и легкая установка;
- возможность установки в шпуров различного диаметра.

Самозакрепляющаяся анкерная крепь СЗА (таблица Г.4) состоит из:

- анкера – цилиндрического металлического стержня из специального профиля;
- цилиндрической втулки – кольца цилиндрической формы;

– опорной плиты – пластины объемной формы.

Самозакрепляющаяся анкерная крепь предназначена для крепления кровли, стенок подземных горных выработок и тоннелей, а также бортов и уступов карьера при освоении рудных, нерудных и россыпных месторождений.

Анкеры устанавливаются в пробуренные по периметру выработки шпуры с диаметром меньше, чем диаметр анкера, и закрепляются в них за счет упругих свойств металла. Анкеры, работая на растяжение, удерживают закрепляемые породы от расслоения, сдвижения и обрушения.

Цилиндрическая втулка, размещенная на конце анкера, выступающего из шпура, обеспечивает закрепление опорной плиты на анкере путем формирования опорного узла. Наличие опорной плиты позволяет поддерживать породы в области «пирамиды вывала» между анкерами, тем самым увеличивая надежность и безопасность эксплуатации выработок.

Современное антикоррозийное покрытие анкеров, выполненное в соответствии с требованиями нормативных документов, позволяет использовать их в условиях агрессивных шахтных сред, что увеличивает срок службы и надежность анкерной крепи.

Таблица Г.4 – Параметры анкерной крепи СЗА

Наименование	Значение						
Диаметр буровой коронки, мм	30	35	38	41	43	45	47
Типоразмер СЗА	СЗА-33	СЗА-39	СЗА-42	СЗА-44	СЗА-46	СЗА-48	СЗА-50
Внешний диаметр полого стержня, мм	33	39	42	44	46	48	50
Длина анкера*, мм	1500 – 3000						
Размер опорной плиты*, мм	150 x 150, 200 x 200, 250 x 250						
Толщина опорной плиты*, мм	3-6						

Соблюдение правильного соотношения диаметров шпура и анкера обеспечивает максимальную несущую способность, которая создается сразу после установки анкера в шпур и составляет 70 кН (7 т)

Преимущества самозакрепляющейся анкерной крепи СЗА:

– не требует использования закрепляющих составов на основе цемента и полимеров, что сокращает затраты, связанные с установкой;

– повышение безопасности работ в связи с отсутствием рабочих во время установки анкеров под незакрепленным пространством;

– сокращение состава звена крепильщиков: требуется меньшее количество рабочего персонала (максимум 1 оператор буровой установки и 1-2 помощника).

– конструкция крепи имеет достаточную податливость, что позволяет применять ее на удароопасных месторождениях и при креплении неустойчивых пород в составе усиленных комбинированных крепей;

- анкера вступают в работу сразу после их установки, что позволяет производить буровзрывные работы в забое при минимальном отставании;
- возможность применения имеющегося бурового оборудования – как самоходного, так и переносного;
- высокая несущая способность анкера и наличие опорной плиты позволяют увеличить расстояние между штангами, сокращая объемы работ по бурению шпуров под анкеры;
- современный способ антикоррозийной защиты элементов крепи позволяет применять ее в любых условиях агрессивного воздействия шахтной среды;
- интенсификация строительства горных выработок за счет значительного сокращения времени на крепление.

Конструкция анкерной крепи СЗА позволяет применять ее в составе усиленных комбинированных крепей в сложных горно-геологических условиях, характеризующихся слабой устойчивостью горных пород, повышенными водопритоками и высоким горным давлением.

Усиленная комбинированная крепь на основе СЗА (СЗА-УКК) состоит из (рисунок Г.8):

1. – анкера СЗА;
2. – опорной плиты УКК – пластины оригинальной объемной формы, обеспечивающей крепление сетки;
3. – замка – металлического клина и арматурного фиксатора.



Рисунок Г.8 – Комбинированная крепь на основе СЗА

СЗА-УКК применяется при проходке горных выработок в породах средней и ниже категорий устойчивости. Для данных условий предлагается использовать специальный вид крепи на основе самозакрепляющейся анкерной крепи – СЗА-УКК, которая предусматривает определенную форму опорной плиты для подвешивания металлической сетки.

Самозакрепляющаяся анкерная крепь, усиленная армокаркасом (СЗА - Армкрепь) ((рисунок Г.9):) состоит из:

1. – анкера СЗА;
2. – армокаркаса.

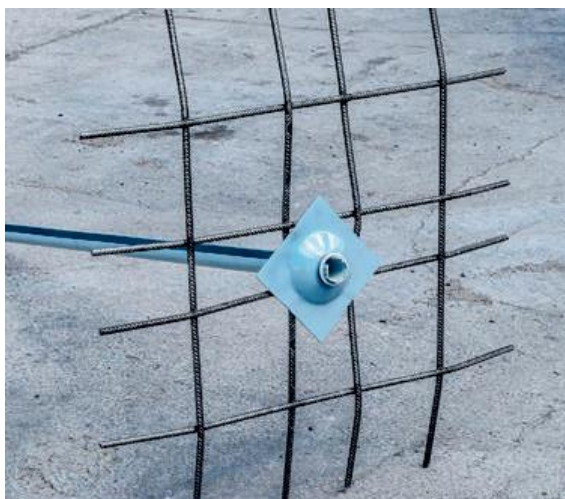


Рисунок Г.9 – Самозакрепляющаяся анкерная крепь, усиленная армокаркасом

Оригинальный способ крепления разработан на основе применения самозакрепляющейся анкерной крепи. СЗА-Армокрепь предназначена для крепления сильнотрещиноватых, склонных к вывалообразованию неустойчивых пород при проходке горных выработок. Наличие армокаркаса, представляющего собой плетеную сетку из высокопрочной арматуры, устанавливаемую одновременно с анкером, обеспечивает затяжку пород по периметру выработки и исключает опасность вывала структурных блоков массива.

Усиленная армокаркасом анкерная крепь позволяет полностью механизировать процесс крепления и исключить нахождение людей под незакрепленным пространством, что обеспечивает максимальную безопасность рабочего персонала.

Использование данной конструкции позволяет не только крепить забой выработок без отставания – непосредственно перед выполнением работ буровзрывного цикла и до нанесения набрызгбетонного слоя, но и предотвращает опасность падения кусков породы с кровли и бортов выработок.

Преимущества СЗА – армокрепь:

- простота и надежность конструкции;
- обеспечение прочности контуров выработки в слабых и неустойчивых категориях пород;
- полная механизация процесса крепления.; возможность крепления забоя выработки без отставания;
- конструкция армокаркаса позволяет производить буровзрывные работы сразу после закрепления выработки без потери технологических свойств крепи;
- возможность применения в качестве временной крепи до нанесения слоя набрызгбетона и постоянной – после его нанесения;
- полностью исключается нахождение людей под незакрепленным межанкерным пространством, что обеспечивает безопасность рабочего персонала.

Анкер канатный АК15, АК18; АК15Н (рисунок Г.10), длина анкера L=3000-8000 мм.

Применение канатных анкеров в качестве крепи усиления способствует повышению надёжности работы основной крепи и безопасности условий поддержания широких выработок и их сопряжений.



а) АК15, АК18

б) АК 15 Н

Рисунок Г.10 – Анкер канатный

Анкер канатный АК15, АК18 закрепляется ампульным способом ампулами с полиэфирной смолой или быстротвердеющей минеральной композицией. Состоит из каната арматурного условным диаметром 15,0 мм и 18,0 мм соответственно, условным пределом текучести 1410 Н/мм² (144 кгс/мм²) ГОСТ 13840-68 или ГОСТ Р 53772-2010 с узлами уширения, шнеком проволочным, спиралью опорной на головном конце, соединенной с канатом муфты, гайки, трубы и опорных элементов (шайбы). Закрепляющий состав ампул – полиэфирная смола или быстротвердеющая минеральная композиция.

Анкер канатный АК15Н закрепляется нагнетательным или ампульнонагнетательным способом, нагнетанием минеральных композиций или органоминеральных смол сразу после установки или после предварительного закрепления ампульным способом. Состоит из каната арматурного условным диаметром 15,0 мм, условным пределом текучести 1410 Н/мм² (144 кгс/мм²) ГОСТ 13840-68 или ГОСТ Р53772-2010 с узлами уширения, шнеком проволочным, спиралью опорной на головном конце, соединенной с канатом муфты, гайки, герметизатора, воздухоотводящей трубки при ампульнонагнетательном способе, замка на головном конце вместо спирали опорной при нагнетательном способе закрепления. Крепь закрепляется по всей длине шнура быстротвердеющей минеральной композицией или органоминеральными смолами.

Приложение Д

Таблица Д.1 – Факторы, влияющие на расчет параметров анкерной технологии крепления

№	Факторы	Обозначение	Примечание
1	2	3	4
Горно-геологические			
1	Порода слоя		
2	Крепость породы слоя по шкале проф. Протодяконова, МПа	f	
3	Мощность слоя, м	m	
4	Понижающий прочность коэффициент влажности породы слоя	$k_{вл}$	по умолчанию 1
5	Угол внутреннего трения пород, Град	φ	по умолчанию 35°
6	Объемный вес, т/м³	γ_k	
Горнотехнические			
7	Ширина выработки, м	B_c	$K_{ш}$ –коэффициент, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5$ м
8	Высота выработки, м	h	
9	Расчетная глубина расположения выработки от поверхности, м	H	
10	Полупролет выработки, м	a	
11	Форма поперечного сечения		Прямоугольная / Арочная
12	Расположение выработки	K_a	Штреки, бремсберги, уклоны и сопряжения / квершлаг. K_a – коэффициент, учитывающий расположение выработок
13	Воздействие других выработок		Одиночная выработка/ ППГД
14	Расстояние до смежных выработок, влияющих на расстоянии, м	l	Влияет до 15 м
15	Вид выработки и условия ее поддержания		Таблица 2.4
16	Тип кровли по обрушаемости	K_c	1 тип / 2 тип / 3 тип
17	Охрана целиком, его ширина, м	$l_{ц}$	K_{ϵ} –коэффициент, учитывающий влияние других смежных выработок на расстояниях

Продолжение таблицы Д.1

1	2	3	4
18	Степень связывания и упрочнения пород анкерами, м	K_a	0,5 / 1 / По всей длине
19	Коэффициент концентрации напряжений в боках горных выработок	K_b	1,2 для $B_c > 6$ м или ПГД 1,5 – 2
20	Содержание песчаника в породах междупластья, %		Для сопряжений
21	Ширина взаимовлияющей выработки, м		Для сопряжений
Анкеров, металлоарочной крепи			
	Технические характеристики крепи		
22	Величина заглубления в устойчивую зону массива пород кровли анкеров первого уровня, м	ℓ_z	по умолчанию 0,4
23	Длина выступающей из шпура части анкера из пород кровли анкеров первого уровня, м	ℓ_n	по умолчанию 0,1
24	Несущая способность анкера кровли, кН	P_a	по умолчанию 130
25	Несущая способность бокового анкера, кН	P_{ab}	по умолчанию 80
26	Длина закрепления анкера глубокого заложения выше контура свода естественного равновесия, м	ℓ_{z2}	по умолчанию 1
27	Выступающая внутрь горной выработки часть анкера глубокого заложения, м	ℓ_{n2}	по умолчанию 0,2
28	Несущая способность анкера глубокого заложения, кН	P_{a2}	по умолчанию 210
29	Сопротивление рамной крепи, кН/м	P_{ap}	по умолчанию 410
30	Поправочный коэффициент, учитывающий уменьшения плотности установки рамной крепи при наличии анкерного крепления с учетом класса пород	ψ	По умолчанию принимается; 0,5 – для песчаника; 0,56 – для алевролитов; 0,61 – для аргиллитов; 0,66 – для угля.

Определение расчетного смещения пород

По полученному значению $R_{ск}$, МПа и глубине заложения выработки H , м, определяется расчетное смещение пород кровли U_M , МПа (таблицы Е.1, Е.2).

Определение смещений пород кровли в зонах повышенного горного давления.

Таблица Е.1 – VI. В пластовых выработках, проводимых в присечку к выработанному пространству в период влияния погашающей лавы

№	Величина	Порядок расчета
1	Расчетное смещение в кровле, мм	$U_{np} = (U_o + U^{np}_{л}) \cdot K_{ш} \cdot K_k \cdot K_a$
2	Глубина выработки, м	H
3	Поправочный коэффициент $K_{ш}$, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5$ м	$K_{ш} = 0,25 \cdot (B - 1),$ $B = B_c$ – фактическая ширина выработки
4	Поправочный коэффициент K_a , учитывающий степень связывания и упрочнения пород	$K_a = f(\text{Длина закрепления стержня анкера})$
5	Длина закрепления стержня анкера в скважине (шпуре) скрепляющим составом, м	– 0.5 – 1 – по всей длине
6	Поправочный коэффициент K_k , учитывающий обрушаемость основной кровли; принимается равным	$K_k = f(\text{Тип кровли})$
	Тип кровли по обрушаемости	– I тип кровли – II тип кровли – III тип кровли
7	Расчетные смещения кровли в зоне влияния погашающей выработки, мм	$U_o = f(H, R_c)$, (рисунок Ж.8)
8	Расчетные смещения в зоне погашающей лавы, мм	$U^{np}_{л} = f(H, R_c)$, (рисунок Ж.9)

Таблица Е.2 – VII. Определение смещений пород кровли в зонах повышенного горного давления

№	Величина	Порядок расчета
1	2	3
1	Расчетное смещение в кровле, мм	$U_{кр} = U_0 + U_1 \cdot k_{um} \cdot k_s$
2	Смещения пород в зоне опорного давления очистного забоя, мм	$U_1 = f(H, R_c)$

Продолжение таблицы Е.2

1	2	3
3	Поправочный коэффициент интенсивности увеличения горного давления впереди лавы в зависимости от управляемости пород кровли	$k_{инт}$, таблица Е.3
4	Поправочный коэффициент, учитывающий влияние площади сечения сопряжения в свету до осадки	k_s , таблица Е.4
5	Смещение пород на сопряжениях горизонтальных и наклонных горных выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ, мм	$U_0 = k_\alpha \cdot k_\theta \cdot k_{ин}^1 \cdot k_\varepsilon \cdot k_t \cdot U_m$
6	Поправочный коэффициент влияния угла падения вмещающих пород и направления проходки горной выработки относительно простирания пород	k_α , таблица Е.5
7	Поправочный коэффициент направления смещений пород: при определении смещений со стороны почвы или кровли (в вертикальном направлении)	k_θ , в вертикальном направлении k_θ равен 1; при определении боковых смещений пород (в горизонтальном направлении) – таблица Е.5.
8	Поправочный коэффициент влияния размеров сопряжения	$k_{ин}^1 = 0,25 \cdot (B - 1)$ – для кровли; $k_{ин}^1 = 0,25 \cdot (h - 1)$ – для боков
	Коэффициент влияния времени на смещения пород	$k_t = f$ (время, лет), для горных выработок, срок службы которых менее 10 лет; Более 10 лет и $H/R_c < 60$ $k_t = 1$
9.	Поправочный коэффициент вредного воздействия горных выработок	$k_\varepsilon = k_{в1} \cdot k_{в2}$, для одиночной выработки $k_\varepsilon = 1$
10.	Поправочный коэффициент взаимовлияния сопрягающихся горных выработок	$k_{в1}$, таблица Е.6
	Поправочный коэффициент влияния других смежных горных выработок, расположенных на расстоянии менее допустимых l_d	$k_{в2} = \frac{l_\partial}{l_\phi}$
11.	Расстояние между сопряжением и соседней горной выработкой при отсутствии ее влияния, м	$l_\partial = (B + B_{вл}) \cdot k_L$
12.	Ширина соседней горной выработки	$B_{вл}$, м
13.	Поправочный коэффициент взаимовлияния соседних горных выработок	k_L , таблица Е.7
14.	Фактическое расстояние между сопряжением и другими горными выработками, м	l_ϕ , при $l_d < l_\phi$ следует принимать $k_{в2} = 1$.

Продолжение таблицы Е.2

1	2	3
1 6	Поправочный коэффициент вредного воздействия горных выработок при подготовке выемочных столбов парными горными выработками для сопряжений горных выработок с их сбойками; при целике между горными выработками менее 15м	$k_6 = 1 + \left(1 - \frac{l_y}{15}\right)$

Значение U_1 , U_T , k_t определяются по номограммам инструкции [54, с.3].

Таблица Е.3 – Поправочный коэффициент интенсивности $k_{инт}$ увеличения горного давления

Тип кровли	$k_{инт}$, коэффициент интенсивности увеличения горного давления
Легкоуправляемые	1,3
Среднеуправляемые	1,45
Трудноуправляемые	1,6

Таблица Е.4 – Поправочный коэффициент k_s , учитывающий влияние площади сечения k_s

Площадь сечения сопряжения, м ²	10	12	14	16	18	20	22	24
k_s	1,0	1,1	1,2	1,25	1,35	1,45	1,6	1,8

Таблица Е.5 – Поправочные коэффициенты k_α и k_θ

Направление проходки выработки	Коэффициенты при углах падения пород α , град.			
	до 20		21–30	
	k_α	k_θ	k_α	k_θ
По простиранию	1,0	0,35	0,95	0,55
Вкрест простирания	0,7	0,55	0,	0,8
Под углом к простиранию	0,85	0,45	0,8	0,65

Таблица Е.6 – Поправочный коэффициент взаимовлияния сопрягающихся горных выработок $k_{в1}$

Вид сопряжения	Значение $k_{в1}$
Прямое пересечение	1,5
Косое пересечение	1,6
Прямоугольное ответвление	1,4
Остроугольное ответвление	1,5
Соединение двух горных выработок в одну	1,6
Двустороннее ответвление	1,6

Таблица Е.7 – Поправочный коэффициент взаимовлияния соседних горных выработок k_L

Глубина расположения горной выработки, м	Коэффициент k_L при расчетном сопротивлении $R_{ск}$, МПа							
	до 30	от 30 до 60	от 60 до 90	более 90	до 30	от 30 до 60	от 60 до 90	более 90
	горные выработки по простиранию				горные выработки вкрест простираия			
До 300	3,5	1,8	1,5	1,2	1,8	1,5	1,2	1,0
301 – 600	4,0	2,0	1,7	1,4	2,2	1,8	1,5	1,2
601 – 900	4,5	2,5	2,0	1,6	2,6	2,1	1,7	1,4
901 – 1200	5,0	3,5	2,5	1,8	3,0	2,5	2,0	1,5

Определение расчетного смещения в зоне ПГД представлено в таблице Е.8.

Таблица Е.8 – При воздействии надработки/ подработки

VIII Смещения пород в горных выработках, проводимых после отработки сближенного пласта и расположенных в зоне ПГД от краевой части смежного пласта $U_{пгд}$, мм,	$U_{пгд} = U \cdot K_i$ где U – смещение пород кровли в горных выработках, не испытывающих влияния зон ПГД, мм; K_i – коэффициент увеличения смещений пород кровли горных выработок в зонах ПГД или их снижения в зонах разгрузки; для горных выработок, расположенных в надработанном массиве $K_i = K_{рн}$, в подработанном массиве $K_i = K_{рп}$ (таблицы Е.9 и Е.10).
---	---

Таблица Е.9 – Поправочный коэффициент разгрузки при подработке $K_{рп}$

Содержан ие песчаника в толще, %	Величина $K_{рп}$ при $h_{БП}$, м											
	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	180	200
До 50	0,52	0,53	0,54	0,58	0,60	0,64	0,68	0,73	0,83	0,80	0,88	1,0
51–75	0,58	0,60	0,61	0,62	0,64	0,66	0,69	0,73	0,83	0,86	0,90	1,0
76–100	0,65	0,66	0,67	0,68	0,70	0,72	0,75	0,78	0,82	0,87	0,92	1,0

Таблица Е.10 – Коэффициент разгрузки при надработке $K_{рн}$

$h_{БП}$, м	5	10	20	30	40	50	70	100
$K_{рн}$	0,40	0,50	0,65	0,80	0,90	0,95	0,97	1,00

$h_{БП}$, $h_{БН}$ – расстояние влияния кромки пласта (краевой части или целика) в кровлю и почву, соответственно при под- и надработке, м.

Исследование погрешности (достоверности) уравнений аппроксимации номограмм, определения расчетных смещений пород подземных горных выработок

Ж.1 Выработки, проводимые в массиве и поддерживаемые в продолжении всего срока службы вне зоны влияния очистных работ.

Номограмма определения расчетных смещений кровли в массиве при $B = 5$ м, где B - ширина выработки представлена на рисунке Ж.1.

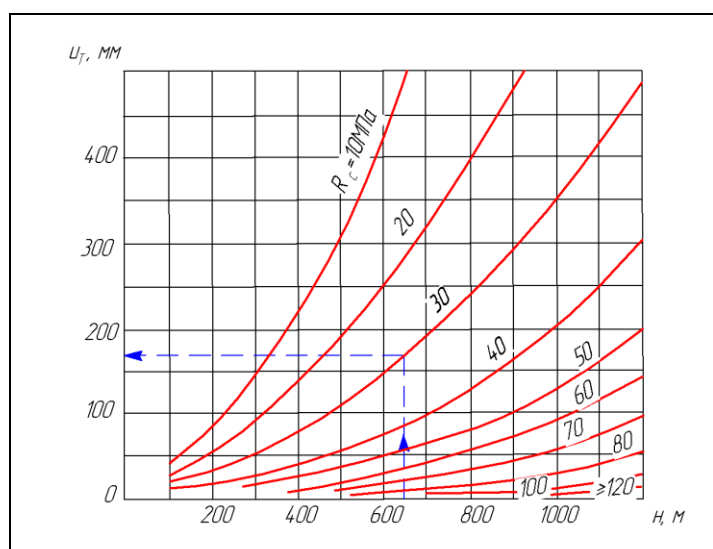


Рисунок Ж.1– Расчетные смещения кровли в массиве при $B = 5$ м

Уравнения аппроксимаций линий номограмм, для выработок данного вида, описаны в таблице Ж.1.

Таблица Ж.1 – Уравнения аппроксимации для выработок вида I

R_c – Сопротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа	U_t - Расчетные смещения кровли в массиве, мм, H – глубина выработки, м
10	$U_t = 9.781 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H + 0.091 \cdot H + 23.496$
20	$U_t = 3.924 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H + 0.17 \cdot H + 7.883$
30	$U_t = 3.007 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H + 0.017 \cdot H + 18.997$
40	$U_t = 2.435 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H - 0.054 \cdot H + 17.517$
50	$U_t = 1.801 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H - 0.067 \cdot H + 19.822$
60	$U_t = 1.413 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H - 0.06 \cdot H + 11.009$
70	$U_t = 1.178 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H - 0.082 \cdot H + 22.504$
80	$U_t = 8.226 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H - 0.075 \cdot H + 22.614$
100	$U_t = 6.737 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H - 0.082 \cdot H + 29.218$
≥ 120	$U_t = 8.259 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10)) \cdot H \cdot H - 0.133 \cdot H + 54.326$

Исходя из наилучших результатов аппроксимации, была выбрана квадратичная функция [91].

Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации представлены в таблице Ж.2.

Таблица Ж.2 – Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации для выработок вида I

Rc – Сопротивлени е пород кровли выработки на сжатие, МПа	H – Высота выработки , м	U1 – Значение смещения по номограмме , мм	U2 – Значение смещения по уравнению аппроксимации , мм	Абсолютная погрешност ь $ (U1-U2) $, мм	Относительна я погрешность $ (U1-U2)/U1 \cdot 100$, %
10	300	140	138.8	1.2	0.85%
20	600	250	251.1	1.1	0.44%
30	1000	350	336.69	13.31	3.8%
40	1100	250	252.75	2.75	1.1%
50	900	100	105.4	5.4	5.4%
60	760	50	47.02	2.98	5.96%
70	700	25	22.82	2.18	8.72%
80	700	11.76	13.4	1.64	13.94%
Среднее значение				3.82	5.02%

Вывод: Исходя из полученного результата, абсолютная погрешность 3.82мм и относительная погрешность 5.02% является допустимой. Такой процент погрешности может быть следствием зрительной ошибки, так как в качестве экспериментальных данных выступают случайно выбранные точки на номограмме.

Ж.2 Выработки и сопряжения, проводимые в массиве, а затем поддерживаемые в зоне влияния очистных работ

Номограмма определения расчетных смещений кровли при охране выработки целиками представлена на рисунке Ж.5.

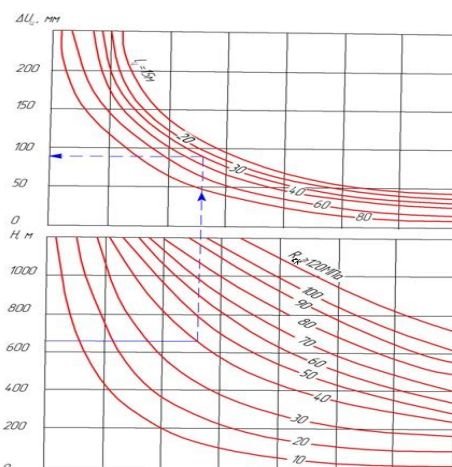


Рисунок Ж.5 – Расчетные смещения кровли при охране выработки целиками

Уравнения аппроксимаций линий номограмм, для выработок данного вида, описаны в таблице Ж.3 и таблице Ж.4.

Таблица Ж.3 – Уравнения аппроксимации для выработок вида II

R_c – Соппротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа	X – Значение координаты x
10	$X = (3.83 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 5.091 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H))$
20	$X = (6.765 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 8.062 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H))$
30	$X = (1.232 \cdot \exp(-6 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 9.56 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H))$
40	$X = (-4.17 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 - 2.269 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H))$
50	$X = (7.918 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 3.66 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H))$
60	$X = (1.043 \cdot \exp(-6 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 3.974 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H))$
70	$X = 138.031 \cdot \exp(-1.598 \cdot \exp(-3 \cdot \ln(10.0)) \cdot H)$
80	$X = (2.314 \cdot \exp(-6 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 6.557 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H))$
100	$X = (2.186 \cdot \exp(-6 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 4.569 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H))$
≥ 120	$X = 7.051 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H - 0.19 \cdot H + 170.251$

Таблица Ж.4 – Уравнения аппроксимации для выработок вида II

Лц – Охрана целиком, м	$\Delta U_{ц}$ - Расчетные смещения кровли при охране выработки целиками, мм
15	$\Delta U_{ц} = (6.324 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 5.625 \cdot \exp(-10 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$
20	$\Delta U_{ц} = (6.324 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 5.625 \cdot \exp(-10 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$
30	$\Delta U_{ц} = (7.088 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 9.291 \cdot \exp(-10 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$
40	$\Delta U_{ц} = (-4.347) / (\ln(0.998 - 8.128 \cdot \exp(-3 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$
60	$\Delta U_{ц} = (4.684 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 1.628 \cdot \exp(-9 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$
80	$\Delta U_{ц} = (3.848 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 2.786 \cdot \exp(-9 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$

В данной номограмме использовалась как гиперболическая функция, так и квадратичная функция для аппроксимации [92, с. 98].

Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации представлены в таблице Ж.5.

Таблица Ж.5 – Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации для выработок вида II

Рс – Сопротивлен ие пород кровли выработки на сжатие, МПа	Н – Высота выработк и, м	Лц – Охрана целико м, м	U1 – Значение смещения по номограм ме, мм	U2 – Значение смещения по уравнению аппроксимац ии, мм	Абсолютн ая погрешнос ть $ (U1-U2) $, мм	Относитель ная погрешност ь $ (U1-U2) /U1 \cdot 100$, %
10	200	40	100	101.52	1.52	1.52%
20	368	40	100	104.66	4.66	4.66%
30	280	15	70	69.9	0.01	0.01%
40	1000	30	150	158.9	8.9	5.9%
50	540	15	70	68.42	1.58	2.25%
60	500	60	25	26.94	1.94	7.76%
70	720	15	70	69.21	0.79	1.12%
80	500	40	25	26.55	1.55	6.2%
90	930	80	25	23.02	1.98	7.92%
100	1000	15	70	68.97	1.03	1.47%
≥ 120	610	40	25	25.93	0.93	3.72%
Среднее значение					2.26	3.86%

Вывод: Исходя из полученного результата, абсолютная погрешность 2.26мм и относительная погрешность 3.86% является допустимой. Такой процент погрешности может быть следствием зрительной ошибки, так как в качестве экспериментальных данных выступают случайно выбранные точки на номограмме, также график немного искажен, что дополнительно может вызывать погрешность при выборе точек на номограмме.

Ж.3 Пластовые выработки, проводимые в массиве и охраняемые за лавой целиком $0,1H > l_{ц} > 15$ м, а затем погашаемые за смежной лавой.

Номограмма определения расчетных смещений кровли в зоне погашаемой лавы представлена на рисунке Ж.6.

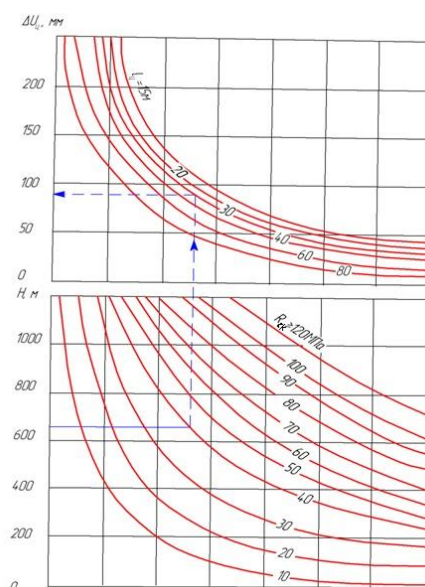


Рисунок Ж.6 — Расчетные смещения кровли в зоне погашаемой лавы

Уравнения аппроксимаций линий номограмм, для выработок данного вида, описаны в таблице 2.6 и таблице Ж.7.

Таблица Ж.6 – Уравнения аппроксимации для выработок вида III

R _c Сопротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа	X – Значение координаты x
10	$X = 0.323 / (\ln(1.004 + 7.325 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0))) \cdot H)$
20	$X = 3.029 / (\ln(1.001 + 4.848 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0))) \cdot H)$
30	$X = (1.33 \cdot \exp(-6 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1.0 + 1.236 \cdot \exp(-10.0 \cdot \ln(10.0))) \cdot H)$
40	$X = (2.674 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1.0 + 1.658 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0))) \cdot H)$
50	$X = 1.495 \cdot \exp(-10.0 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H \cdot H - 5.327 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 7.27 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H - 0.488 \cdot H + 162.081$
60	$X = 6.929 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H \cdot H - 2.952 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 4.758 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H - 0.381 \cdot H + 154.242$
70	$X = 2.046 \cdot \exp(-10.0 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H \cdot H - 7.182 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 9.533 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H - 0.625 \cdot H + 207.759$
80	$X = 165.856 \cdot \exp(-1.752 \cdot \exp(-3 \cdot \ln(10.0))) \cdot H$
100	$X = 4.145 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H - 0.148 \cdot H + 145.575$
≥120	$X = 4.463 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H - 0.16 \cdot H + 161.164$

Таблица Ж.7 – Уравнения аппроксимации для выработок вида III

Лц целиком, м	Охрана	$\Delta U_{ц}$ - Расчетные смещения кровли в зоне погашаемой лавы, мм
15		$\Delta U_{ц} = 35.35 / (\ln(0.928 + 0.019 \cdot X))$
20		$\Delta U_{ц} = 5.038 / (\ln(0.999 + 2.16 \cdot \exp(-3 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$
30		$\Delta U_{ц} = 1.025 / (\ln(1 + 4.592 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$
40		$\Delta U_{ц} = (1.64 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0))) / (\ln(1 + 8.536 \cdot \exp(-11 \cdot \ln(10.0)) \cdot X))$
60		$\Delta U_{ц} = -2.078 \cdot \exp(-3 \cdot \ln(10.0)) \cdot X \cdot X \cdot X + 0.319 \cdot X \cdot X - 16.237 \cdot X + 301.032$
80		$\Delta U_{ц} = 0.173 \cdot X + 294.491 \cdot \exp(-0.087 \cdot X)$

В данной номограмме использовалась как гиперболическая функция, так и 999полиномиальная различных степеней (4 и 3 степень) [92, с.100].

Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации представлены в таблице Ж.8.

Таблица Ж.8 – Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации для выработок вида III

Рс – Сопротивлен ие пород кровли выработки на сжатие, МПа	Н – Высота выработк и, м	Лц – Охрана целико м, м	U1 – Значение смещения по номограм ме, мм	U2 – Значение смещения по уравнению аппроксимац ии, мм	Абсолютн ая погрешнос ть $ (U1-U2) $, мм	Относител ная погрешност ь $ (U1-U2) /U1 \cdot 100$, %
10	280	40	27,27	26,19	1,08	3,96%
20	400	40	27,27	26,41	0,86	3,15%
30	400	15	38,65	37,56	1,09	2,82%
40	800	40	27,27	27,48	0,21	0,77%
50	1000	40	27,27	27,19	0,08	0,29%
60	1200	40	27,27	26,94	0,33	1,21%
70	609,9	15	20,49	20,09	0,40	1,95%
80	836,36	30	15,89	15,63	0,26	1,63%
90	945,46	15	27,73	27,42	0,31	1,11%
100	1118,19	15	27,73	27,51	0,22	0,79%
≥ 120	1027,27	20	15,95	16,64	0,69	4,32%
Среднее значение					0,50	2%

Вывод: Исходя из полученного результата, абсолютная погрешность 0.5мм и относительная погрешность 2% является допустимой. Такой процент погрешности может быть следствием зрительной ошибки, так как в качестве экспериментальных данных выступают случайно выбранные точки на номограмме.

Ж.4 Пластовые выработки, проводимые в массиве и погашаемые за лавой

Номограмма определения расчетных смещений кровли в зоне влияния погашающей выработки (рисунок Ж.7)

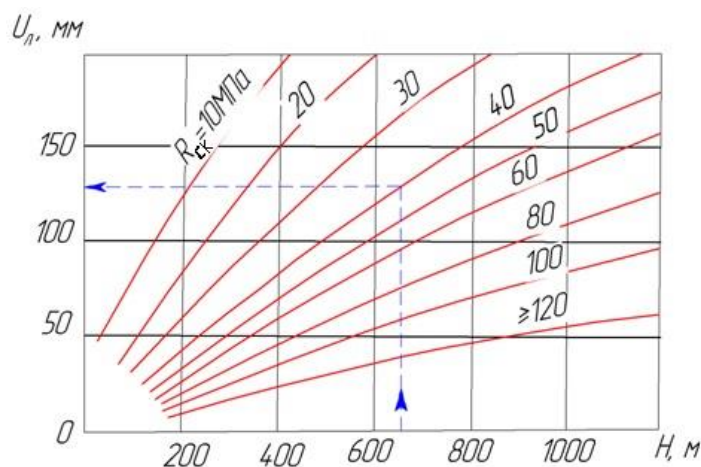


Рисунок Ж.7 — Расчетные смещения кровли в зоне влияния погашающей выработки

Уравнения аппроксимаций линий номограмм, для выработок данного вида, описаны в таблице 2.9.

Таблица Ж.9 – Уравнения аппроксимации для выработок вида IV

R_c Соппротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа	U_n - Расчетные смещения кровли в зоне влияния погашающей выработки, мм
10	$U_n = -2.458 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.498 \cdot H + 34.629$
20	$U_n = -1.561 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.415 \cdot H + 7.453$
30	$U_n = -8.747 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.314 \cdot H - 0.952$
40	$U_n = -6.007 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.249 \cdot H - 5.599$
50	$U_n = 1.299 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H - 3.539 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.422 \cdot H - 40.617$
60	$U_n = 3.264 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H - 1.144 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.233 \cdot H - 17.314$
80	$U_n = -2.648 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 1.924 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.127 \cdot H - 9.101$
100	$U_n = -2.39 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 1.864 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.094 \cdot H - 2.529$
≥ 120	$U_n = -3.584 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 5.049 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.043 \cdot H - 0.993$

В данной номограмме использовалась полиномиальная функция (квадратичная и кубическая) [92, с.100].

Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации представлены в таблице Ж.10.

Таблица Ж.10 – Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации для выработок вида IV

Rc – Соппротивлени е пород кровли выработки на сжатие, МПа	H – Высота выработки , м	U1 – Значение смещения по номограмме , мм	U2 – Значение смещения по уравнению аппроксимации , мм	Абсолютная погрешност ь $ (U1-U2) $, мм	Относительна я погрешность $ (U1-U2) /U1 \cdot 100$, %
10	140,6	100	99,78	0,22	0,22%
20	400	150	148,47	1,53	1,02%
30	562,8	150	148,06	1,94	1,29%
40	481,4	100	100	0	0%
50	925,8	150	149,81	0,19	0,12%
60	800	115,36	112,58	2,78	2,4%
80	1000	109,6	110,65	1,05	0,95%
100	1000	84,64	86,21	1,57	1,85%
≥ 120	800	47,8	47,37	0,43	0,89%
Среднее значение				1,07	0,97%

Вывод: Исходя из полученного результата, абсолютная погрешность 1.07мм и относительная погрешность 0.97% является допустимой. Такой процент погрешности может быть следствием зрительной ошибки, так как в качестве экспериментальных данных выступают случайно выбранные точки на номограмме. Данный результат получился самым точным, погрешность минимальная.

Ж.5 Пластовые выработки, проводимые вприсечку к выработанному пространству

Номограмма определения расчетных смещений пород при проходке присечной выработки (рисунок Ж.8)

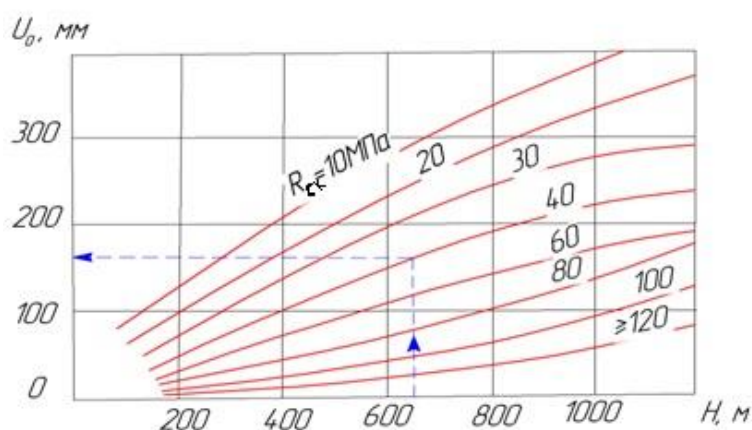


Рисунок Ж.8 – Расчетные смещения пород при проходке присечной выработки

Таблица Ж.11 – Уравнения аппроксимации для выработок вида V

R_c Соппротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа	U_0 - Расчетные смещения пород при проходке присечной выработки, мм
10	$U_0 = -1.159 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.461 \cdot H + 42.508$
20	$U_0 = -9.93 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.411 \cdot H + 21.863$
30	$U_0 = -1.568 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 1.649 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.252 \cdot H + 18.181$
40	$U_0 = -8.839 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 7.764 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.231 \cdot H + 2.926$
60	$U_0 = -6.219 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 5.885 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.181 \cdot H - 7.647$
80	$U_0 = 5.3 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H - 5.649 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.149 \cdot H - 10.441$
100	$U_0 = 1.005 \cdot \exp(-7 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H - 1.473 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.15 \cdot H - 16.235$
≥ 120	$U_0 = 1.569 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 2.507 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.012 \cdot H + 0.471$

В данной номограмме использовалась как гиперболическая функция, так и полиномиальная различных степеней (4 и 3 степень) [93, с.87].

Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации представлены в таблице Ж.12.

Таблица Ж.12 – Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации для выработок вида V

Rc – Сопротивлени е пород кровли выработки на сжатие, МПа	H – Высота выработки , м	U1 – Значение смещения по номограмме , мм	U2 – Значение смещения по уравнению аппроксимации , мм	Абсолютная погрешност ь $ (U1-U2) $, мм	Относительна я погрешность $ (U1-U2)/U1 \cdot 100$, %
10	800	335,48	337,13	1,65	0,49%
20	200	100	100,91	0,91	0,91%
30	600	196,78	194,87	1,91	0,97%
40	400	100	102,09	2,09	2,09%
60	1000	171,02	170,01	1,01	0,59%
80	800	103,22	99,74	3,48	3,37%
100	800	64,4	60,94	3,46	5,37%
≥ 120	1000	54,74	53,23	1,51	2,75%
Среднее значение				2,00	2,06%

Вывод: Исходя из полученного результата, абсолютная погрешность 2мм и относительная погрешность 2.06 % является допустимой. Такой процент погрешности может быть следствием зрительной ошибки, так как в качестве экспериментальных данных выступают случайно выбранные точки на номограмме.

Ж.6 Пластовые выработки проводимые вприсечку к выработанному пространству в период влияния погашающей лавы

Номограмма определения расчетных смещений в период влияния погашающей лавы (рисунок Ж.9)

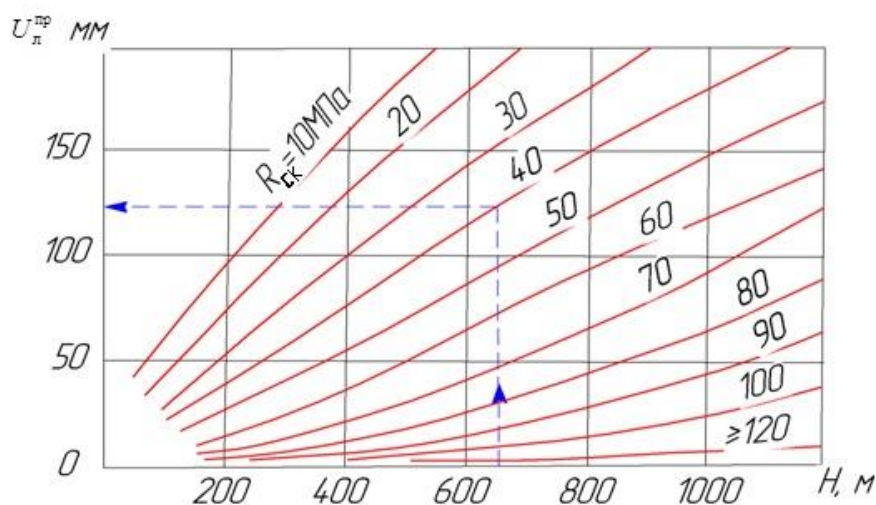


Рисунок Ж.9 – Расчетные смещения в период влияния погашающей лавы

Уравнения аппроксимаций линий номограмм, для выработок данного вида, описаны в таблице Ж.13.

Таблица Ж.13 – Уравнения аппроксимации для выработок вида VI

Рс – Сопротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа	U _л ^{нр} - Расчетные смещения в период влияния погашающей лавы, мм
10	$U_{л}^{нр} = -1.038 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.383 \cdot H + 23.003$
20	$U_{л}^{нр} = -9.27 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.343 \cdot H + 7.444$
30	$U_{л}^{нр} = -5.869 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.276 \cdot H - 1.17$
40	$U_{л}^{нр} = -2.84 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.211 \cdot H - 1.714$
50	$U_{л}^{нр} = -2.074 \cdot \exp(-6 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.15 \cdot H - 1.58$
60	$U_{л}^{нр} = -4.167 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 9.33 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.07 \cdot H - 3.25$
70	$U_{л}^{нр} = 4.866 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.049 \cdot H - 4.983$
80	$U_{л}^{нр} = -3.694 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 1.278 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H - 0.029 \cdot H + 4.62$
100	$U_{л}^{нр} = 4.501 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H - 8.206 \cdot \exp(-5 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H + 0.082 \cdot H - 22.313$
>=120	$U_{л}^{нр} = -9.876 \cdot \exp(-8 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H \cdot H + 2.751 \cdot \exp(-4 \cdot \ln(10.0)) \cdot H \cdot H - 0.236 \cdot H + 67.082$

В данной номограмме использовалась как гиперболическая функция, так и полиномиальная различных степеней (4 и 3 степень).

Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации представлены в таблице Ж.14.

Таблица Ж.14 – Результаты исследования достоверности уравнений аппроксимации для выработок вида VI

Рс – Сопротивление пород кровли выработки на сжатие, МПа	H – Высота выработки, м	U1 – Значение смещения по номограмме, мм	U2 – Значение смещения по уравнению аппроксимации, мм	Абсолютная погрешность (U1-U2) , мм	Относительная погрешность (U1-U2)/U1*100, %
1	2	3	4	5	6
10	200	95,59	95,48	0,11	0,11%
20	400	129,4	129,81	0,41	0,31%
30	400	100	99,83	0,17	0,17%
40	800	150	148,91	1,09	0,72%
50	800	117,64	117,09	0,55	0,46%
60	600	63,23	63,33	0,1	0,15%

Продолжение таблицы Ж.14

1	2	3	4	5	6
70	800	66,17	65,35	0,82	1,23%
80	1000	64,7	66,47	1,77	2,73%
90	1200	63,23	62,95	0,28	0,44%
100	1000	22,05	22,6	0,55	2,49%
≥ 120	800	4,41	3,78	0,63	14,28%
Среднее значение				0,58	2,09%

Вывод: Исходя из полученного результата, абсолютная погрешность 0.58 мм и относительная погрешность 2.09% является допустимой. Такой процент погрешности может быть следствием зрительной ошибки, так как в качестве экспериментальных данных выступают случайно выбранные точки на номограмме.

Методика автоматизированного расчета анкерного крепления

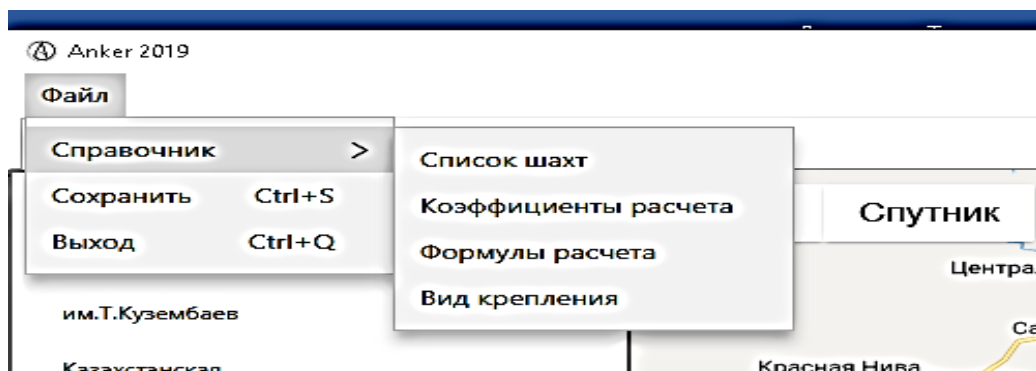


Рисунок 3.1 – Блок справочных данных

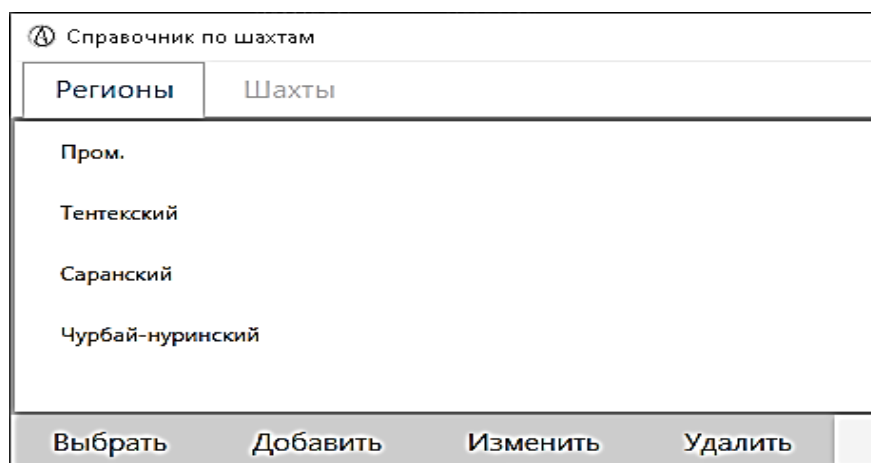


Рисунок 3.2 – Определение промышленных районов

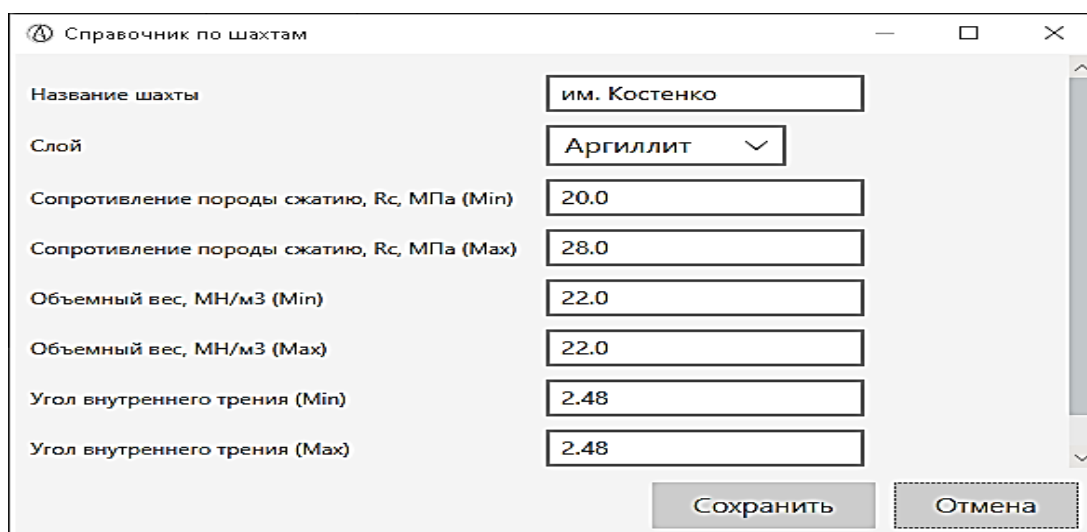


Рисунок 3.3 – Корректировка физико-механических свойств пород

Коэффициенты расчета

Справочник

Коэффициент концентрации напряжений в боках (Kв)

Воздействие других выработок:

Значение:

Коэффициент учитывающий дополнительную нарушенность кровли трещиноватостью (Kс)

Тип кровли по обрушаемости:

Значение:

Коэффициент учитывающий расположение выработок при расчете смещения кровли (Ka)

Расположение выработки:

Значение:

Коэффициент учитывающий степень связывания и упрочнения пород анкерами (Kalpha)

Длина закрепления стержня анкера в скважине (шпуре) скрепляющим составом, м:

Значение:

Сохранить Отмена

Рисунок 3.4 – Корректировка поправочных коэффициентов расчета

Вид крепления

Справочник

	Сопротивление Rск, МПа	Величина смещения U, мм	Глубина заложения, м	Примечание
Анкерное крепление	≥ 35	≤ 150		На высоту 0.58 м
Анкерное крепление	< 35	≤ 150	≤ 300	На высоту 0.58 м
Комбинированное крепление	< 35			На высоту 1.58 м
Двухуровневое крепление	≥ 35			На высоту 1.58 м

По умолчанию Сохранить Отмена

Рисунок 3.5 – Корректировка условий выбора схемы анкерного крепления

Формулы расчета

Справочник

Пк:

Ск (прямоугольная форма):

Ск (арочная форма):

n:

Режим справки Сохранить Отмена

Рисунок 3.6 – Выбор порядка расчета параметров крепления

Листинг программной системы Anker 2019

MainApp.kt

```
package org.anker

import org.anker.style.AnchorStyle
import org.anker.view.MainView
import tornadofx.*

class MainApp : App(MainView::class, AnchorStyle::class)

fun main(args: Array<String>) {
    launch<MainApp>(args)
}
```

CableAnchor.kt

```
package org.anker.util.calc

import org.anker.model.Report
import org.anker.preference.MainData
import org.anker.util.SystemUtils
import org.anker.util.tang
import kotlin.math.*

object CableAnchorCalc {
    fun makeCalc(): LinkedHashMap<Int, Double> {
        val production = MainData.structure.getProduction()

        val valueK0Max: Double
        // выбор K0 в зависимости от типа кровли по обрушаемости
        valueK0Max = MainData.structure.handBook.k0Max[production.typeRoofIndex]
        MainData.intermediateParams["K_0 max) - максимальное значение
коэффициента увеличения напряжений в боках выработок"] = valueK0Max.toString()

        val valueRc = production.valueRc()

        //глубина выработки
        val depth = production.depth
        //Расчет смещения
        val u = BiasCalc.getBias(production, valueRc)

        val width = production.width

        val valueHeight = production.height

        val valueRcSide = production.valueRcSide()
        val valueLz = production.lining.deepeningValue
        val valueLn = production.lining.lengthPart
        MainData.intermediateParams["Rcб - Сопротивление в боках"] =
valueRcSide.toString()
        MainData.intermediateParams["Lз-величина заглубления в устойчивую зону
массива пород кровли анкеров первого уровня, м"] = valueLz.toString()
        MainData.intermediateParams["Ln-длина выступающей из шпура части анкера
из пород кровли анкеров первого уровня, м"] = valueLn.toString()
        val capacity = production.lining.capacity
        val capacitySide = production.lining.capacitySide
        val capacityD = production.lining.capacityD
        val valueBc = production.valueBc()
```

```

        MainData.intermediateParams["Вс - расчетная ширина выработки, м"] =
valueBc.toString()
        val wholeGuard = production.wholeGuard
        val volumeWeight = production.valueVolumeWeightRoof()
        MainData.intermediateParams["γк - средневзвешенный объемный вес в
пределах зоны обрушения пород в кровле 0.5м"] = volumeWeight.toString()
        val volumeWeightSide = production.valueVolumeWeightRoofSide()
        MainData.intermediateParams["γк - средневзвешенный объемный вес в
пределах зоны обрушения пород в боках"] = volumeWeightSide.toString()
        val angle = production.valueAngle()
        MainData.intermediateParams["φ - угол внутреннего трения пород в
кровле"] = angle.toString()
        val angleSide = production.valueAngleSide()
        MainData.intermediateParams["φ - угол внутреннего трения пород в боках"]
= angleSide.toString()

        val kB = production.ratioConcentration

        var valueKVL = 1.0
        if (wholeGuard < 15) valueKVL = 2 - wholeGuard / 15

        val valueK0 = 1 + (valueK0Max - 1) * (0.1 * depth - wholeGuard) / (0.1 *
depth)

        //sigmaB
        val valueSigmaB = kB * valueKVL * valueK0 * volumeWeightSide * depth /
(valueRcSide * 1000.0)

        MainData.intermediateParams["Кв - коэффициент концентрации напряжений в
боках"] = kB.toString()
        MainData.intermediateParams["Квл - коэффициент увеличения напряжений в
боках выработок"] = valueKVL.toString()
        MainData.intermediateParams["Ко - коэффициент увеличения напряжений в
боках выработок "] = valueK0.toString()

        MainData.intermediateParams["σБ - степень относительной напряженности
пород боков кровли"] = valueSigmaB.toString()

        //PaБ
        var valueRab = 36.061 + 3.859 * valueSigmaB / 1000
        if (valueRab < 40)
            valueRab = 40.0
        //Длина анкера в боках

        val valueLab = valueHeight * tang(45.0 - angleSide / 2)
        println("valueLab = $valueLab = $valueHeight *tang(45 - $angle/2")
        /* val valueF = production.valueF()
        val valueKc = production.valueKc() */
        MainData.intermediateParams["a^/ - вспомогательная при расчете глубины
обрушения"] = (production.halfSpanWidth + valueHeight * tang(45.0 - angle /
2)).toString()
        MainData.intermediateParams["f - крепость по шкале проф.
Протодяконова"] = production.valueF().toString()
        val valueLv = (production.halfSpanWidth + valueHeight * tang(45.0 -
angle / 2)) /
            (production.valueF() * production.valueKc())

        MainData.intermediateParams["lv - глубина возможного обрушения пород
свода кровли выработки, м"] = valueLv.toString()

        var valueLa = valueLv + valueLn + valueLz
        if (valueLa <= 2.4)
            valueLa = 2.4

```

```

        MainData.intermediateParams["ℓa - длина анкера первого уровня, м"] =
valueLa.toString()

    val kofLoading: Double
    kofLoading = when {
        valueRc < 35.0 -> MainData.structure.handBook.kNP[0]
        valueRc in 35.0..80.0 -> MainData.structure.handBook.kNP[1]
        else -> MainData.structure.handBook.kNP[2]
    }
    MainData.intermediateParams["нП - коэффициент пригрузки;"] =
kofLoading.toString()

    val skIndex = MainData.structure.handBook.indexSk
    val pkIndex = MainData.structure.handBook.indexPk
    //*****Другая формула
    val valueDensity = SystemUtils.double2(((if (pkIndex == 0) (valueLa -
valueLn) else valueLv) * volumeWeight * kofLoading) / capacity)
    val valueAa = sqrt(1 / valueDensity)

    var countAnchor = if (production.crossSectionShapeIndex == 0)
        (production.valueBc() - 0.6) / valueAa
    else
        production.valueBc() / valueAa
    countAnchor = if (countAnchor - countAnchor.toLong() >= 0.05)
        ceil(countAnchor)
    else
        floor(countAnchor)

    //*****Другая формула
    val stepAnchor = (countAnchor * capacity) /
        ((if (production.crossSectionShapeIndex == 0)
            production.valueBc()-0.6 else production.valueBc()) *
            (if (skIndex == 0) (valueLa - valueLn) else valueLv) *
            volumeWeight * kofLoading)

    val valueAaSide = sqrt(capacitySide / valueRab)
    var countAnchorSide = (valueHeight - 1) / valueAaSide
    countAnchorSide = if (countAnchorSide - countAnchorSide.toLong() >=
0.05)
        ceil(countAnchorSide)
    else
        floor(countAnchorSide)

    println("nk : $countAnchor, " +
        "Lв = $valueLv, " +
        "Aa = $valueAa, " +
        "Пк = $valueDensity, " +
        "Yк = $volumeWeight, " +
        "Cк = $stepAnchor, " +
        "нП = $kofLoading, " +
        "ℓз = $valueLz, " +
        "ℓн = $valueLn, " +
        "ℓa = $valueLa, " +
        "поправочный коэффициент =
${production.valueCorrectionFactor()}") + " CapacityD = $capacityD")

    //ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СВОДА ЕСТЕСТВЕННОГО РАВНОВЕСИЯ
    var valueBp: Double
    val arraySide: Array<Pair<Double, Int>>
    val condition = production.ratioConcentration *
production.valueVolumeWeightRoof(1.5) / 1000.0 * depth
    MainData.intermediateParams["к·γк·Н"] = condition.toString()

```

```

    if (valueRcSide >= condition) {
        valueBp = 0.0
        arraySide = arrayOf(Pair(0.0, 23))
    } else {
        arraySide = arrayOf(Pair(SystemUtils.double2(valueRcSide), 7),
            Pair(SystemUtils.double2(valueRab), 8),
            Pair(SystemUtils.double2(valueLab), 9),
            Pair(SystemUtils.double2(valueAaSide), 10),
            Pair(SystemUtils.double2(countAnchorSide), 11))
        valueBp = 0.7
        if (depth / valueRc in 25.0..30.0)
            valueBp = valueHeight * tang((90.0 - angleSide) / 2.0)
    }

    val valueBP = production.valueBc() + 2 * valueBp
    MainData.intermediateParams["вР - величина возможного разрушения боков
горной выработки, м"] = valueBp.toString()
    MainData.intermediateParams["Вр - расчетная ширина горной выработки, с
учетом возможного разрушения, м"] = valueBP.toString()

    val kofSV = getKofSV(production.valueRc(1.5))
    val valueHSV = kofSV * valueBP
    println("valueHSV = $valueHSV = $kofSV * $valueBP")
    MainData.intermediateParams["ксв - коэффициент свода естественного
равновесия"] = kofSV.toString()
    MainData.intermediateParams["hсв - высота свода естественного
равновесия пород над горной выработкой, м"] = valueHSV.toString()

    println("ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СВОДА ЕСТЕСТВЕННОГО РАВНОВЕСИЯ \n" +
        "куН : $condition, " +
        "Кс.в. = $kofSV, " +
        "Вр = $valueBp, " +
        "ВР = $valueBP")

    //РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРОВ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ
    val volume15 = production.valueVolumeWeightRoof(1.5)
    MainData.intermediateParams["γк - средневзвешенный объемный вес в
пределах зоны обрушения пород в кровле 1.5м"] = volume15.toString()

    val valuePSV = 2.0 / 3.0 * valueBP * valueHSV * volume15
    MainData.intermediateParams["Рсв - Ожидаемое давление пород свода
естественного равновесия на один погонный метр горной выработки со стороны
кровли, кН/м "] = valuePSV.toString()

    val valuePSVy = valuePSV / valueBc
    MainData.intermediateParams["Рс.в.у"] = valuePSVy.toString()
    val valueDLv = production.lining.valueLv
    val valueDLz = production.lining.valueLz
    val valueKRVN = (valueLv + valueLz) / valueHSV
    //*****instead lv (la-ln)
    val valuePVKy = 2.0 / 3.0 * valueBP / valueBc * valueHSV * volume15 +
        (if (valueLa-valueLn <= valueLv) 1 else -1) *
        (valueKRVN * (valueLa - valueLn) * volumeWeight * kofLoading)
    MainData.intermediateParams["Рв.к.у - Ожидаемое удельное давление пород
свода естественного равновесия на анкры глубокого заложения, кН/м2"] =
valuePVKy.toString()
    val valueLka = valueHSV + valueDLv + valueDLz
    val valuePvk = valuePVKy / capacityD
    var valueNpvk = valueBc * valuePvk * stepAnchor
    valueNpvk = if (valueNpvk - valueNpvk.toLong() >= 0.05)
        ceil(valueNpvk)
    else
        floor(valueNpvk)

```

```

var valueSpvk = (valueBc - 2.0) / (valueNpvk - 1.0)
//change - to *
var valuePvvk = valueNpvk * capacityD / (stepAnchor * valueBc)
//*****instead lv (la-ln)
var valuePsum = valueKRVN * (valueLa - valueLn) * volume15 * kofLoading
+ valuePvvk

println("РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРОВ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ \n" +
    "Рсв : $valuePSV, " +
    "Рсв.у = $valuePSVy, " +
    "Кр.в.н. = $valueKRVN, " +
    "Рв.к.у. = $valuePVKy, " +
    "лк.а. = $valueLka, " +
    "Пв.к. = $valuePvk, " +
    "n(p.v.k.) = $valueNpvk, " +
    "Ср.в.к. = $valueSpvk, " +
    "Рв.в.к. = $valuePvvk, " +
    "Рсум. = $valuePsum")

val valuePOH = (valueHSV + valueLz) * volumeWeight
MainData.intermediateParams["Ро.н. - удельное давление, кН/м2 первого
уровня пород"] = valuePOH.toString()
var countPlus = 0
MainData.intermediateParams["Рв.в.к ($valueNpvk анкера (ов)),
Сопротивление анкеров глубокого заложения кН/м2 "] = valuePvvk.toString()
MainData.intermediateParams["Рсум ($valueNpvk анкера (ов))"] =
valuePsum.toString()
while (valuePsum <= valuePSVy || valuePOH >= valuePvvk) {
    valueNpvk += 1
    countPlus++
    valueSpvk = (valueBc - 2.0) / (valueNpvk - 1.0)
    //change - to *
    valuePvvk = valueNpvk * capacityD / (stepAnchor * valueBc)

    //*****instead lv (la-ln)
    valuePsum = valueKRVN * (valueLa - valueLn) * volume15 * kofLoading
+ valuePvvk
    MainData.intermediateParams["Рв.в.к ($valueNpvk анкера (ов)),
Сопротивление анкеров глубокого заложения кН/м2 "] = valuePvvk.toString()
    MainData.intermediateParams["Рсум ($valueNpvk анкера (ов))"] =
valuePsum.toString()
    if (countPlus >= 10)
        break
}

MainData.intermediateParams["кр.в.н - коэффициент разгрузки анкеров
глубокого заложения за счет анкеров первого уровня"] = valueKRVN.toString()
return Report.createReport(arrayOf(
    Pair(SystemUtils.double2(valueRc), 0),
    Pair(SystemUtils.double2(production.valueRc(1.5)), 17),
    Pair(SystemUtils.double2(u), 1),
    Pair(SystemUtils.double2(valueLa), 2),
    Pair(SystemUtils.double2(valueAa), 3),
    Pair(SystemUtils.double2(countAnchor), 4),
    Pair(SystemUtils.double2(stepAnchor), 5),
    Pair(SystemUtils.double2(valueDensity), 6))
    .plus(arraySide)
    .plus(arrayOf(Pair(SystemUtils.double2(valueLka), 14),
        Pair(SystemUtils.double2(valuePSVy), 15),
        Pair(SystemUtils.double2(valueNpvk), 16),
        Pair(SystemUtils.double2(valueSpvk), 18),
        Pair(SystemUtils.double2(valuePsum), 19)))
    .plus(

```

```

        if (countPlus > 0)
            arrayOf(Pair(SystemUtils.double2(countPlus.toDouble()), 20))
        else arrayOf()
    )
    .plus(arrayOf(Pair(SystemUtils.double2(valuePvk), 21),
        Pair(SystemUtils.double2(stepAnchor), 22)))
)

```

CombineAnchorCalc.kt

```
package org.anker.util.calc
```

```

import org.anker.model.Report
import org.anker.preference.MainData
import org.anker.util.SystemUtils.double2
import org.anker.util.tang
import kotlin.math.ceil
import kotlin.math.floor
import kotlin.math.sqrt

```

```

object CombineAnchorCalc {
    fun makeCalc(): LinkedHashMap<Int, Double> {
        val production = MainData.structure.getProduction()
        val valueRc = production.valueRc()
        //Расчет смещения
        val u = BiasCalc.getBias(production, valueRc)
        val width = production.width

        val valueHeight = production.height
        val valueLz = production.lining.deepeningValue
        val valueLn = production.lining.lengthPart
        val capacity = production.lining.capacity
        val volumeWeight = production.valueVolumeWeightRoof()
        val volumeWeight15 = production.valueVolumeWeightRoof(1.5)
        val angle = production.valueAngle()

        MainData.intermediateParams["γк - средневзвешенный объемный вес в
пределах зоны обрушения пород в кровле 0.5м"] = volumeWeight.toString()
        val valueLv = (production.halfSpanWidth + valueHeight * tang(45.0 -
angle / 2)) /
            (production.valueF() * production.valueKc())

        var valueLa = valueLv + valueLn + valueLz
        if (valueLa <= 2.4)
            valueLa = 2.4

        val kofLoading: Double
        kofLoading = when {
            valueRc < 35.0 -> MainData.structure.handBook.kNP[0]
            valueRc in 35.0..80.0 -> MainData.structure.handBook.kNP[1]
            else -> MainData.structure.handBook.kNP[2]
        }

        val skIndex = MainData.structure.handBook.indexSk
        val pkIndex = MainData.structure.handBook.indexPk
        //*****Другая формула
        val valueDensity = double2(((if (pkIndex == 0) (valueLa - valueLn) else
valueLv) * volumeWeight * kofLoading) / capacity)
        val valueAa = sqrt(1 / valueDensity)

        var countAnchor = if (production.crossSectionShapeIndex == 0)

```

```

        (production.valueBc() - 0.6) / valueAa
    else
        production.valueBc() / valueAa
    countAnchor = if (countAnchor - countAnchor.toLong() >= 0.05)
        ceil(countAnchor)
    else
        floor(countAnchor)

    //*****Другая формула
    val stepAnchor = (countAnchor * capacity) /
        ((if (production.crossSectionShapeIndex == 0)
            production.valueBc()-0.6 else production.valueBc()) *
            (if (skIndex == 0) (valueLa - valueLn) else valueLv) *
            volumeWeight * kofLoading)

    val resistanceFrame = production.lining.resistanceFrame
    //instead width kofLoading
    val valueN = ((valueLa - valueLn) * volumeWeight * production.valueBc())
/ resistanceFrame
    val valueNWithCorrect = valueN * production.valueCorrectionFactorNew()

    println("nk : $countAnchor, " +
        "Lb = $valueLv, " +
        "Aa = $valueAa, " +
        "Pk = $valueDensity, " +
        "Yk = $volumeWeight, " +
        "Ck = $stepAnchor, " +
        "nП = $kofLoading, " +
        "lz = $valueLz, " +
        "ln = $valueLn, " +
        "la = $valueLa, " +
        "поправочный коэффициент =
    ${production.valueCorrectionFactorNew()}, " +
        "сопротивление крепи = $resistanceFrame")
    MainData.intermediateParams["ψ - поправочный коэффициент"] =
production.valueCorrectionFactorNew().toString()
    return Report.createReport(arrayOf(
        Pair(double2(valueRc), 0),
        Pair(double2(production.valueRc(1.5)), 17),
        Pair(double2(u), 1),
        Pair(double2(valueLa), 2),
        Pair(double2(valueAa), 3),
        Pair(double2(countAnchor), 4),
        Pair(double2(stepAnchor), 5),
        Pair(double2(valueDensity), 6),
        Pair(double2(valueN), 12),
        Pair(double2(valueNWithCorrect), 13)
    ))

}
package org.anker.util.calc

import kotlin.math.roundToInt

val dataKoeffSV = arrayOf(Pair(10, 0.85), Pair(20, 0.8), Pair(30, 0.75), Pair(40,
0.7),
    Pair(50, 0.65), Pair(60, 0.6), Pair(70, 0.55), Pair(80, 0.5),Pair(90,
0.45),
    Pair(100, 0.4),Pair(150, 0.35),Pair(200, 0.3))

fun getKoeffSVDefault(h: Double): Double {
    dataKoeffSV.forEach {
        if (it.first.toDouble() == h)
            return it.second
    }
}

```

```

    }
    return 0.0
}

fun getKoeffSV(valueH: Double): Double {
    val h = valueH.roundToInt()
    val data = when (h) {
        in 0..9 -> KoeffData(0, 10.0, 10.0)
        in 10..19 -> KoeffData(10, 10.0, 20.0)
        in 20..29 -> KoeffData(10, 20.0, 30.0)
        in 30..39 -> KoeffData(10, 30.0, 40.0)
        in 40..49 -> KoeffData(10, 40.0, 50.0)
        in 50..59 -> KoeffData(10, 50.0, 60.0)
        in 60..69 -> KoeffData(10, 60.0, 70.0)
        in 70..79 -> KoeffData(10, 70.0, 80.0)
        in 80..89 -> KoeffData(10, 80.0, 90.0)
        in 90..99 -> KoeffData(10, 90.0, 100.0)
        in 100..149 -> KoeffData(50, 100.0, 150.0)
        in 150..199 -> KoeffData(50, 150.0, 200.0)
        else -> KoeffData(0, 200.0, 200.0)
    }
    val value1 = getKoeffSVDefault(data.first)
    val value2 = getKoeffSVDefault(data.second)
    val q = (h - data.first)
    val point = (value2 - value1) / data.step
    return value1 + point * q
}

package org.anker.util.calc

import kotlin.math.roundToInt

val dataKoeffP = arrayOf(
    Pair(0.0..50.0,
        arrayOf(Pair(10, 0.52), Pair(20, 0.53), Pair(30, 0.54), Pair(40,
0.58),
        Pair(60, 0.6), Pair(80, 0.64), Pair(100, 0.68),
Pair(120, 0.73),
        Pair(140, 0.83), Pair(160, 0.8), Pair(180, 0.88),
Pair(200, 1.0))),
    Pair(51.0..75.0,
        arrayOf(Pair(10, 0.58), Pair(20, 0.6), Pair(30, 0.61), Pair(40,
0.62),
        Pair(60, 0.64), Pair(80, 0.66), Pair(100, 0.69),
Pair(120, 0.73),
        Pair(140, 0.83), Pair(160, 0.86), Pair(180, 0.9),
Pair(200, 1.0))),
    Pair(76.0..100.0,
        arrayOf(Pair(10, 0.65), Pair(20, 0.66), Pair(30, 0.67), Pair(40,
0.68),
        Pair(60, 0.7), Pair(80, 0.72), Pair(100, 0.75),
Pair(120, 0.78),
        Pair(140, 0.82), Pair(160, 0.87), Pair(180, 0.92),
Pair(200, 1.0)))
)

val dataKoeffN = arrayOf(Pair(5, 0.4), Pair(10, 0.5), Pair(20, 0.65), Pair(30,
0.8),
    Pair(40, 0.9), Pair(50, 0.95), Pair(70, 0.97), Pair(100, 1.0))

fun getKoeffPDefault(n: Double, h: Double): Double {
    dataKoeffP.forEach { param1 ->
        if (n in param1.first) {
            param1.second.forEach {
                if (h == it.first.toDouble())

```



```

        return it.second
    }
}
}
return 0.0
}

data class KoefData(val step: Int, val first: Double, val second: Double)

fun getKoefNDefault(h: Double): Double {
    dataKoefN.forEach {
        if (it.first.toDouble() == h)
            return it.second
    }
    return 0.0
}

fun getKoefP(n: Double, valueH: Double): Double {
    val h = valueH.roundToInt()
    val data = when (h) {
        in 0..9 -> KoefData(0, 10.0, 10.0)
        in 10..19 -> KoefData(10, 10.0, 20.0)
        in 20..29 -> KoefData(10, 20.0, 30.0)
        in 30..39 -> KoefData(10, 30.0, 40.0)
        in 40..59 -> KoefData(20, 40.0, 60.0)
        in 60..79 -> KoefData(20, 60.0, 80.0)
        in 80..99 -> KoefData(20, 80.0, 100.0)
        in 100..119 -> KoefData(20, 100.0, 120.0)
        in 120..139 -> KoefData(20, 120.0, 140.0)
        in 140..159 -> KoefData(20, 140.0, 160.0)
        in 160..179 -> KoefData(20, 160.0, 180.0)
        in 180..199 -> KoefData(20, 180.0, 200.0)
        else -> KoefData(0, 200.0, 200.0)
    }
    val value1 = getKoefPDefault(n, data.first)
    val value2 = getKoefPDefault(n, data.second)
    val q = (h - data.first)
    val point = (value2 - value1) / data.step
    return value1 + point * q
}

fun getKoefN(valueH: Double): Double {
    val h = valueH.roundToInt()
    val data = when (h) {
        in 0..4 -> KoefData(0, 5.0, 5.0)
        in 5..9 -> KoefData(5, 5.0, 10.0)
        in 10..19 -> KoefData(10, 10.0, 20.0)
        in 20..29 -> KoefData(10, 20.0, 30.0)
        in 30..39 -> KoefData(20, 30.0, 40.0)
        in 40..49 -> KoefData(20, 40.0, 50.0)
        in 50..69 -> KoefData(20, 50.0, 70.0)
        in 70..99 -> KoefData(20, 70.0, 100.0)
        else -> KoefData(0, 100.0, 100.0)
    }
    val value1 = getKoefNDefault(data.first)
    val value2 = getKoefNDefault(data.second)
    val q = (h - data.first)
    val point = (value2 - value1) / data.step
    return value1 + point * q
}

fun getKoefKDefault(n: Double, x: Double): Double {
    when (n) {
        20.0 -> return -0.0517 * x + 2.0194
    }
}

```

```

40.0 -> return -0.0255 * x + 2.0182
60.0 -> return -0.0169 * x + 2.0075
80.0 -> return -0.0126 * x + 2.0044
100.0 -> return -0.01 * x + 2.0014
120.0 -> return -0.0084 * x + 2.0037
140.0 -> return -0.0072 * x + 2.0036
160.0 -> return -0.0062 * x + 1.9989
180.0 -> return -0.0056 * x + 1.9994
200.0 -> return -0.005 * x + 1.9986
220.0 -> return -0.0045 * x + 2.0014
}
return 0.0
}

fun getKoeffK(valueH: Double, x: Double): Double {
    val h = valueH.roundToInt()
    val data = when (h) {
        in 0..19 -> KoefData(0, 20.0, 20.0)
        in 20..39 -> KoefData(20, 20.0, 40.0)
        in 40..59 -> KoefData(20, 40.0, 60.0)
        in 60..79 -> KoefData(20, 60.0, 80.0)
        in 80..99 -> KoefData(20, 80.0, 100.0)
        in 100..119 -> KoefData(20, 100.0, 120.0)
        in 120..139 -> KoefData(20, 120.0, 140.0)
        in 140..159 -> KoefData(20, 140.0, 160.0)
        in 160..179 -> KoefData(20, 160.0, 180.0)
        in 180..199 -> KoefData(20, 180.0, 200.0)
        in 200..219 -> KoefData(20, 200.0, 220.0)
        else -> KoefData(0, 220.0, 220.0)
    }
    val value1 = getKoeffKDefault(data.first, x)
    val value2 = getKoeffKDefault(data.second, x)
    val q = (h - data.first)
    val point = (value2 - value1) / data.step
    val result = value1 + point * q
    return if (result < 1.0) 1.0 else result
}

```

Приложение И

Таблица И.1– Расчет параметров анкерного крепления для горных выработок шахта им. Кузембаева

	Наименование выработки		Вент.бремсберг 44к ₁₀ -в	Вент.штрек 41к ₁₃ -В (бр. Тойшибекова)	Конв.уклон 41к ₁₃ - К ₁₄ (бр. Комнатного)	Полевая вент сбойка 42к ₁₃ -В (бр. Варганова)
	Рекомендуемая схема крепления		Анкерная U _м = 45,34 мм, R _с =49,5МПа	Двухуровневая U _м = 88,7 мм, R _с =28,8 МПа	Анкерная U _м = 36 мм, R _с =42,96 МПа	Анкерная U _м = 40,5 мм, R _с =49,5 МПа
1	2		3	4	5	6
	Горно-технические исходные данные					
1.	Ширина выработки, м ,	B _с	5,5	5	5	5,5
2.	Высота выработки, м	h	3,4	3	3,4	3
3.	Глубина выработки, м	H	639	492	526	522
4.	Длина, м					253
5.	Полупролет выработки по ее ширине, м	a	2,75	2,5	2,5	2,75
6.	Форма поперечного сечения		Арочная	Арочная	Арочная	Арочная
7.	Расположение выработки	K _α	Бремсберг	Штрек	Уклон	Сбойка
8.	Воздействие других выработок		Одиночная выработка	Одиночная выработка	Одиночная выработка	Одиночная выработка
9.	Расстояние до смежных выработок, влияющих на расстоянии, м	K _в	>15	>15	>15	>15
10.	Вид выработки и условия ее поддержания		Проводимых в массиве, а затем поддерживаемых в зоне влияния очистных работ	Проводимых в массиве, а затем поддерживаемых в зоне влияния очистных работ	Проводимых в массиве, а затем поддерживаемых в зоне влияния очистных работ	Проводимых в массиве и погашаемых лавой
11.	Тип кровли по обрушаемости	K _с	1 тип	1 тип	1 тип	1 тип

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5	6	7
12.	Ширина целика вокруг выработки, м Используется при расчете боков	$l_{ц}$	15	15	15	15
13.	Степень связывания и упрочнения пород анкерами (м),	K_a	По всей длине ($K_a = 0,75$)	По всей длине ($K_a = 0,75$)	По всей длине ($K_a = 0,75$)	По всей длине ($K_a = 0,75$)
14.	Коэффициент концентрации напряжений в боках	K_{σ}	1,5	1,5	1,5	1,5
15.	Коэффициент концентрации давления для горных выработок (кровля)	k_B	1,2	1,2	1,2	1,2
Параметры анкеров						
16.	Величина заглубления анкера, м	ℓ_3	0,4	0,5	0,5	0,3
17.	Длина части анкера, выступающей в выработке, м	ℓ_n	0,15	0,1	0,1	0,1
18.	Несущая способность анкера кровли, кН	P_a	100	100	100	100
19.	Несущая способность бокового анкера, кН	$P_{a\sigma}$	80	100	80	80
20.	Длина закрепления анкера глубокого заложения выше контура свода естественного равновесия, м	ℓ_{32}		1		
21.	Выступающая внутрь горной выработки часть анкера глубокого заложения	n_2		0,2		
22.	Несущая способность анкера глубокого заложения, кН			210		
Коэффициенты влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов						
23.	Коэффициент, учитывающий расположение выработок	K_{α}	1	1	1	1
24.	Коэффициент, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5 \text{ м}$	$K_{ш}$	1,125	1,2	1,2	1,325

Продолжение таблицы И.1						
1	2	3	4	5	6	7
25.	Коэффициент, учитывающий степень связывания и упрочнения пород сталеполимерными анкерами	K_a	0,75	0,75	0,75	0,75
26.	Коэффициент, учитывающий влияние других смежных выработок на расстоянии	K_b	1	1,8	1	1
27.	Коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность кровли трещиноватостью	K_c	0,9	0,9	0,9	0,9
28.	Коэффициент, учитывающий обрушаемость основной кровли	K_k	1	1	1	1
29.	Коэффициент увеличения напряжений в боках выработок от других выработок	$K_{вл}$	1			

Таблица И.2 Горно-геологические исходные данные

Наименование выработки	Угольный пласт	Месторасположения	Номер слоя по порядку	Порода слоя	Крепость породы слоя, МПа	Мощность слоя, м, м	Понижающий прочность коэффициент влажности породы слоя, $k_{вл}$	Угол внутреннего трения, φ Град	Объемный вес, γ_k , кН/м ³
Вент.бремс. 44к _{10-В}	Д _{10-В}	Кровля	1	Песчаник	55	15,45	1	35	26
		В боках	1		40	3,4	1	35	25
Вент.штрек 41к _{13-В}	Д _{10-В}	Кровля	1	Аргиллит	32	4,1	1	24,5	23
			2	Песчаник	55	15	1	24,5	23
		В боках	1	Уголь	12	3	1	24,5	14
Конв.уклон 41к _{13-К14}	Д ₆	Кровля	1	Песчаник	55	15,45	1	35	26
		В боках	1	Песчаник	55	1,5	1	35	25
			2	Уголь	42	2	1	35	25
Полевая вент. сбойка 41к _{13-В}	Д ₆	Кровля	1	Песчаник	55	20	1	35	26
		В боках	1	Песчаник	55	1,9	1	35	25
			2	Алевролит	42	1,5	1	35	25

Нормативные ссылки

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

– ГОСТ Р 57719-2017 Горное дело. Выработки горные. Термины и определения. Национальный стандарт Российской Федерации. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2017 г. N 1247-ст. М.: Стандартинформ, 2018;

– ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда. Термины и определения. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 сентября 2014 г. N 70-П). М.: Стандартинформ, 2019;

– ГОСТ Р 57717-2017 Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения. Национальный стандарт Российской Федерации. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2017 г. N 1244-ст. – М.: Стандартинформ, 2018;

– ГОСТ Р 55154-2012 Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования. Национальный стандарт Российской Федерации. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2012 г. N 1077. М.: Стандартинформ, 2014;

– ГОСТ Р 58199-2018 Оборудование горно-шахтное. Крепь анкерная из полимерных композитов. Общие технические условия. Национальный стандарт Российской Федерации. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 августа 2018 г. N 494-ст. М.: Стандартинформ, 2018;

– ГОСТ 33164.1-2014 Оборудование горно-шахтное. Крепи механизированные. Секции крепи. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2015