УДК 622.281.74

Заятдинов Дамир Фанисович
(ООО НПО «АЛЗАМИР», г. Кемерово)
Damir F. Zayatdinov
(LLC NPO «ALZAMIR», Kemerovo)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ ПРИ КРЕПЛЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

IMPROVEMENT OF GROUND ANCHORING SYSTEMS FOR MINE SUPPORT

Аннотация.

В работе проведен обзор результатов применения анкерных систем при креплении горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, систематизированы основные направления совершенствования анкерных систем: оптимизация конструкции анкеров, развитие технологий их установки и внедрение современных методов мониторинга состояния закрепленных горных выработок.

Введение.

Одной из фундаментальных задач геомеханики и подземного строительства является обеспечение устойчивости горных выработок на весь период их эксплуатации. При увеличении глубины проведения горных выработок и наличии сложных горно-геологических условий разработки наблюдается рост трещинообразования, расслоения и потеря несущей способности горных пород.

В настоящее время не менее 80% горных выработок в шахтах и рудниках России и ближнего зарубежья закреплены анкерной крепью [1]. Столь высокие показатели обусловлены тем, что анкерная крепь позволяет существенно повысить безопасность, снизить материалоемкость и увеличить скорость проходческих работ по сравнению с традиционными видами крепей (например, металлической арочной крепью).

Применение анкерных систем при креплении горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Основной результат работы анкерной крепи заключается в снижении деформаций растяжения и трещиноватости пород кровли (почвы) горной выработки путем скрепления между собой отдельных слоёв пород с помощью анкерной крепи [2, 3] (Рисунок 1).

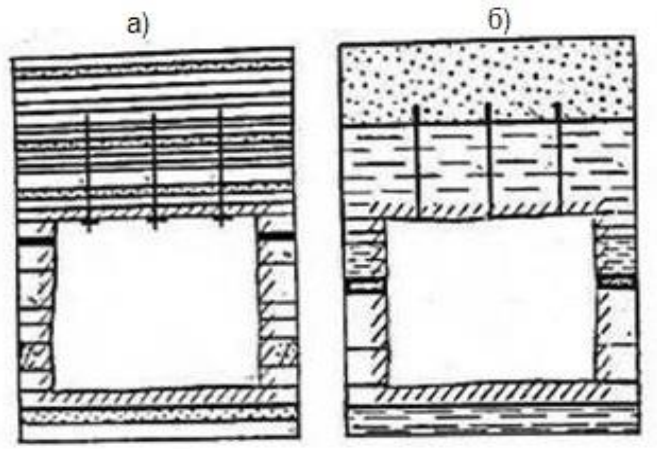

Рисунок 1 – Схемы анкерования:
а) метод «сшивки», б) метод «подшивки»

Анкерная крепь эффективно применяется для решения различных задач [4, 5, 6].

– для крепления кровли капитальных, подготовительных и очистных горных выработок (самостоятельно или в сочетании с рамными крепями);

– как способ борьбы с пучением пород почвы;

– для укрепления бортов горной выработки в угольном или породном массиве;

– для подвески и закрепления горно-шахтного оборудования.

Основное условие успешного применения анкерной крепи – незамедлительная её установка вслед за подвиганием забоя, для предотвращения конвергенции вмещающих пород.

Направления совершенствования анкерных систем.

Несмотря на богатый опыт применения анкерной крепи и широкую номенклатуру ее конструкций существует необходимость ее совершенствования по следующим основным направлениям:

1) оптимизация конструкции анкеров для повышения их несущей способности, податливости и долговечности, в том числе за счёт применения комбинированных и композитных материалов;

2) развитие технологии установки анкерной крепи, включая механизацию и автоматизацию процессов бурения и установки, а также применение предварительного натяжения анкеров;

3) совершенствование контроля устойчивости выработок: внедрение современных методов мониторинга напряжённо-деформированного состояния массива и инструментальной оценки состояния крепи в режиме реального времени.

1. Конструкции анкеров

Перспективным направлением совершенствованием конструкции анкерной крепи является более широкое использование узлов уширения для регулирования податливости и жесткости анкера. Дополнительным

фактором, увеличивающим несущую способность анкера, является его предварительное натяжение, величина которого выбирается в соответствии с горно-геологической и горнотехнической ситуацией [7, 8].

Крепь с предварительным натяжением состоит из следующих элементов: канатный анкер, опорный элемент (шайба), втулка, цанговый замок (рисунок 2). Канатный анкер изготавливается из отпущенной высокопрочной стали и состоит из семи прядей. Для удержания анкера в шпуре на его конце устанавливается распорный элемент, выполненный из пружинной проволоки. Для повышения надежности закрепления в массиве конструкция анкера снабжена узлами уширения.

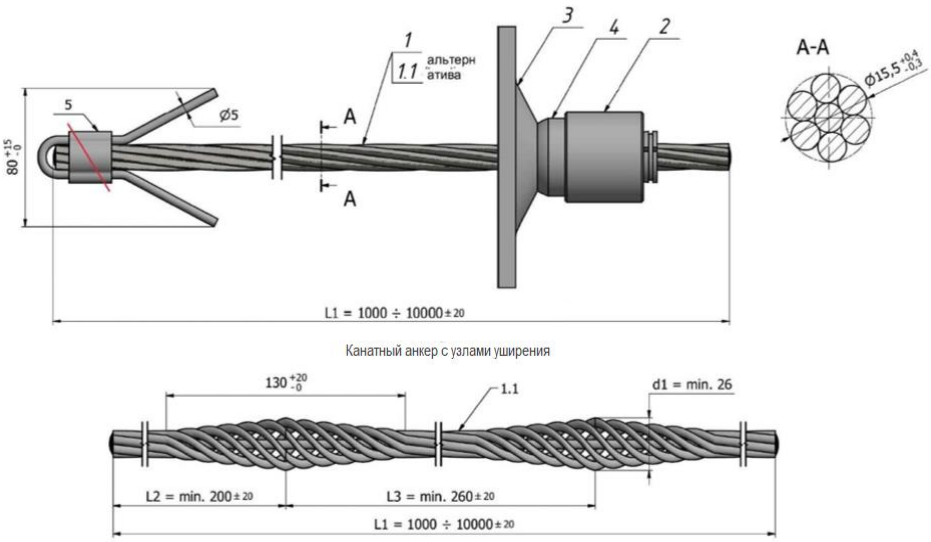

Рисунок 2 – Общий вид крепи анкерной с предварительным натяжением:
1 – канатный анкер; 1.1 – канатный анкер с узлами уширения;
1.2 – узел уширения; 2 – цанговый замок; 3 – шайба; 4 – втулка;
5 – распорный элемент

Цанговые замки предназначены для фиксации шайбы и удержания каната в напряженном состоянии. Клинья цангового замка оснащены прочными насечками, обеспечивающими надежный захват анкера. Каждый клин выполнен из трех сегментов, объединенных фиксирующим кольцом, которое обеспечивает начальное сцепление. Втулка служит для плотного прилегания цангового зажима к шайбе, а также для обеспечения соосности анкера и шпура. В качестве заполняющего состава для шпура применяются полимерные смолы или минеральные составы.

Предварительное натяжение канатного анкера осуществляется гидравлическим натяжителем с приводом от гидравлического насоса (рисунок 3).



Рисунок 3 – Гидравлический натяжитель и гидравлический насос для предварительного натяжения канатных анкеров

2. Технология установки анкерной крепи

Важнейшим этапом технологии установки анкера является качественное заполнение шпура. Для этого в настоящее время используют две основные группы материалов:

- полимерные (химические) смолы: полиэфирные и эпоксидные смолы, а также двухкомпонентные полимеры;
- минеральные (цементные) составы, включая минеральные ампулы, цементно-песчаные растворы и быстротвердеющие тампонажные смеси.

Для заполнения шпура применяется специальное оборудование, например, пневматический поршневой насос типа НПП, который обеспечивает нагнетание материалов в шпур.

Совершенствование технологии установки анкеров позволяет решить сразу несколько задач. Во-первых, современные материалы обеспечивают высокую скорость схватывания и отличную адгезию, что позволяет за короткое время создавать предварительное натяжение и вводить крепь в работу. Во-вторых, механизация процесса установки повышает качество и равномерность заполнения шпура. В-третьих, ускорение установки крепи влияет на безопасность работ и темпы проходки: крепь устанавливается незамедлительно вслед за забоем, предотвращая расслоение и конвергенцию пород.

3. Контроль устойчивости горных выработок после установки анкерной крепи

При проведении горных выработок происходит перераспределение существовавших в нетронутом горном массиве напряжений с образованием областей повышенных напряжений [9, 10]. Повышенные напряжения, возникающие вокруг выработки во вмещающих породах, способствуют деформированию и разрушению этих пород и потере устойчивости горной выработки.

Под устойчивостью горной выработки понимается сохранение в течение заданного промежутка времени необходимых размеров и формы ее поперечного сечения в соответствии с требованиями правил технической эксплуатации и техники безопасности [5].

Мониторинг состояния горных выработок осуществляется различными методами.

1) Измерение вертикального смещения кровли выработки.

«Инструкция по расчёту и применению анкерной крепи на угольных шахтах России» [11] указывает на необходимость установки реперов глубинных для контроля деформационного состояния кровли.

Глубинные реперные станции типа РГ (РГ2, РГ3, РГ4, РГ5, РГ6, РГ7) с цветовой индикацией устанавливают в шпурах диаметром 28-43 мм. Глубинные реперы (базовый, промежуточный и контрольный) соединены тросовыми гибкими поводками с цветовыми индикаторами (рисунок 4а). Три цветовых деления (зеленое, желтое и красное) позволяют визуально определить смещения пород кровли выработки и оценить опасность расслоения и обрушения кровли. Аналогичные функции выполняет индикатор смещений (рисунок 4б).

2) Контроль нагрузочного состояния анкерной крепи

Для контроля безопасных и критических нагрузок массива горных пород на анкеры с металлическими, канатными или композитными стержнями используются индикаторы нагрузки (рисунок 4в) [12].

а) б) в)

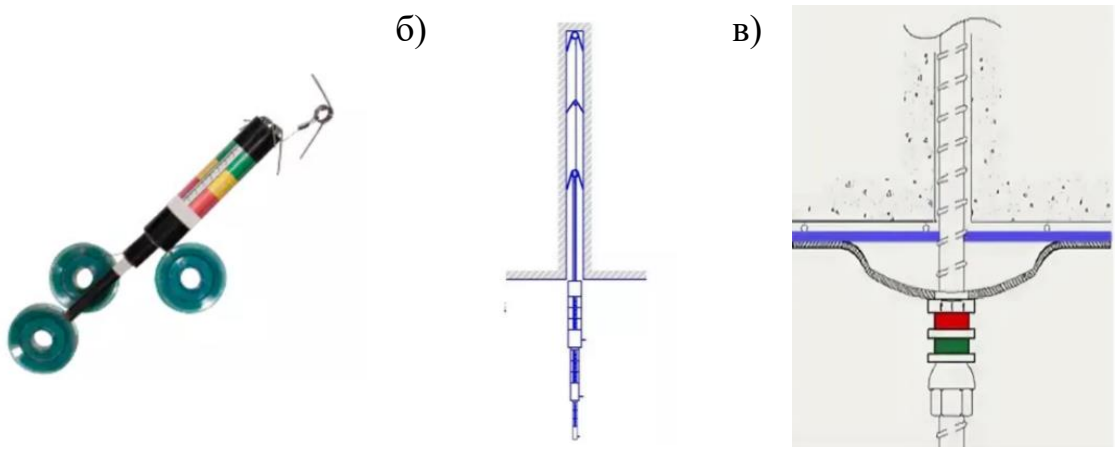

Рисунок 4 – Устройства для измерения смещений кровли выработки: репер глубинный (а), индикатор смещений (б), индикатор нагрузки на анкерную крепь (в)

Оценку состояния крепи и приконтурного массива по положению индикаторов нагрузки ИН рекомендуется вести в комплексе с индикаторами смещений ИС.

3) Измерение сближения кровли и почвы выработки, а также боков выработки.

Вертикальная конвергенция – это абсолютная величина опускания кровли в сочетании с поднятием почвы (пучением). Горизонтальная конвергенция показывает величину уменьшения горизонтального размера выработки. Чрезмерное сближение боков выработки приводит к раздавливанию крепи или отжиму угля.

Для наблюдений используются контурные реперы.

4) Определение трещиноватости пород кровли.

Исследования проводятся при помощи видеоэндоскопов, которые позволяют установить наличие трещин в породах кровли. При перемещении зонда эндоскопа от забоя к устью скважины производится автоматическая запись изображения стенок скважины для его последующего анализа [13, 14, 15].

5) Испытание несущей способности анкерной крепи в шахтных условиях.

Испытания проводятся приборами типа ПКА-1, ПКА-3, ВШГ-20 или аналогичными по назначению [13]. Анкер нагружается растягивающей силой до определенного значения. Выдергивание анкера из скважины означает потерю активного поджатия породы и требует корректировки паспорта крепления выработки.

6) Измерение скорости смещения кровли выработки.

Устойчивой считается выработка, где скорость смещения (мм/сутки или мм/час) стремится к нулю (затухает). Если скорость смещения нарастает или остается постоянной на высоком уровне, то это свидетельствует об активном разрушении и неустойчивости кровли выработки.

Наблюдения проводятся с использованием прибора измерения конвергенции шахтный ИКШ-1, разработанного в НПО «АЛЗАМИР» [16], либо аналогичных.

Контроль устойчивости горных выработок после установки анкерной крепи позволяет оценить эффективность ее использования и скорректировать ее параметры (вид анкера, длина, плотность установки и т.д.) для обеспечения устойчивости горной выработки.

Выводы.

Конструкция анкера с узлами уширения обеспечивает повышение надежности его закрепления в массиве, а также изменение податливости и жесткости анкера.

Полное заполнение шпура полимерными или минеральными составами предотвращает расслоение и конвергенцию пород, обеспечивает ускорение установки крепи, что повышает безопасность работ и увеличивает темпы проходки горных выработок.

Предварительное натяжение канатных анкеров рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений развития анкерной технологии, которое: способствует уплотнению прианкерной зоны, снижает интенсивность трещинообразования и повышает общую несущую способность крепи; позволяет эффективно блокировать существующие трещины в породах, предотвращая их дальнейшее развитие; способствует более равномерному распределению напряжений в окружающем породном массиве, что в итоге снижает смещения кровли и бортов выработки.

Контроль состояния анкерной крепи позволяет оценить эффективность ее использования для обеспечения устойчивости горной выработки.

Список литературы

1. Журнал «Добывающая промышленность». Анкерные системы ООО «ОКС» – передовое решение в оптимизации процессов по креплению горных выработок. – URL: https://dprom.online/mining/ankernye-sistemy-ooo-oks-peredovoe-reshenie-v-optimizatsii-protsessov-po-krepleniyu-gornyh-vyrabotok/(дата обращения: 23.10.2026 г.).

2. Штумпф Г. Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна. Справочник. / Г. Г. Штумпф, Ю. А. Рыжков, В. А. Шаламанов, А. И. Петров – М.: Недра, 1994. – 447 с.

3. Борщевский, С. В. Управление состоянием массива горных пород: учебное пособие / С. В. Борщевский, В. Л. Самойлов, В. Е. Нефёдов. – Москва; Вологда: Инфра–Инженерия, 2024. – 284 с.

4. Вознесенский, А. С. Системы контроля геомеханических процессов: Учебное пособие / Вознесенский А.С., – 2–е изд., стер. – Москва: МГГУ, 2002 – 152 с.: – Текст: электронный. – URL: https://znanium.com/catalog/product/1000499. – Режим доступа: по подписке.

5. Комаров, Е. И. Геотехнология. Подземные горные выработки и их крепление: учебное пособие / Е.И. Комаров. — Москва: ИНФРА-М, 2020. – 170 с. – (Высшее образование: Специалитет). – Текст: электронный. – URL: https://znanium.ru/catalog/product/2111348 (дата обращения: 06.03.2026). – Режим доступа: по подписке.

6. Першин, В. В. Основы строительной геотехнологии: учебное пособие для студентов вузов / В. В. Першин, П. М. Будников, И. Л. Харитонов; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева. Кемерово: КузГТУ, 2023. –553 с.

7. Заводские (стендовые) и шахтные испытания крепи анкерной с предварительным натяжением / В. П. Тациенко, К. А. Бубнов, А. Г. Нашатырев [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2023. – №4. – С. 62-68.

8. Опытно-промышленные испытания технологии предварительного натяжения канатов трособетонной крепи в горных выработках рудника «Октябрьский» / А. К. Устинов, А. Н. Ксенафонтов, В. П. Тациенко, Д. В. Царев // Горный журнал. – 2024. – № 3. – С. 61-65

9. Баклашов И. В. Геомеханика: Учебник для вузов. В 2 т. – Т. 1. Основы геомеханики. / И. В. Баклашов. – Москва: Горная книга (МГГУ), 2004. – 208 с.

10. СП 91.13330.2012. Свод правил. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80- Текст: электронный. - URL: https://docs.cntd.ru/document/1200095532 (дата обращения: 04.05.2026).

11. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах»: Приказ Ростехнадзора от 19.11.2020 г. № 448. URL: https://sudact.ru/law/prikaz-rostekhnadzora-ot-19112020-n-448-ob/ (дата обращения: 04.05.2026).

12. Опыт применения индикаторов нагрузки на анкерную крепь в условиях ООО «Шахта «Усковская» и ООО «Шахта «Южная», филиал АО «Черниговец» / Д.Ф. Заятдинов, Д.В. Пятерикин, В.А. Бобыр и др. // Уголь. – 2024;(8):102-107.

13. Бахтин, Е. В. Мониторинг структуры пород кровли и состояния крепления капитальных и подготовительных горных выработок на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / Е. В. Бахтин, С. В. Кузьмин, С. А. Мешков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S7. – С. 459-470.

14. Воскобоев Ф. Н., Джигрин А.В., Клишин В.И., Качурин Н.М., Мельник В.В., Исаев И.Р., Тациенко В.П., Лупий М.Г., Костюк С.Г. Технологические решения по активному управлению геомеханическими процессами в угольных шахтах. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015, 458 с.

15. Обзор применяемых методов контроля эффективности анкерного крепления / А. П. Кострыкин, К. В. Шайдулин, Е. Н. Ушаков, П. Е. Мерзляков // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2010. – № 2. – С. 207-211.

16. Официальный сайт НПО «АЛЗАМИР». Прибор измерения конвергенции шахтный URL: https://alzamir.ru/konvergometr/?ysclid=mtgitc6iqa536286391 (дата обращения: 23.10.2026 г.).