

УДК: 622.271(575.2)(04)
DOI 10.53473/16946324_2024_3/2

Касымалиев Данияр Бекенович
Жер алдын иштетүү бөлүмүнүн
менеджеринин орун басары
Тел: 0550032671;
e-mail: dankasymaliev5543@gmail.com
Касымалиев Данияр Бекенович,
Заместитель Менеджера
отдела подземной разработки
Тел: 0550032671;
e-mail: dankasymaliev5543@gmail.com
Kasymaliev Daniyar Bekenovich,
Deputy Manager of the Underground Department
Phone: 0550032671;
e-mail: dankasymaliev5543@gmail.com

**ТУРУКТУУ ЭМЕС ЖАТАК ТОО ЖЫНЫСТАРЫНДА ЖЕР АСТЫНДАГЫ
ИШЕМЕЛЕРДИ БЕКЕМДӨӨГӨ ИНОВАЦИЯЛЫК МАТЕРИАЛДАР**

**ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ
ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ НЕУСТОЙЧИВЫХ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД**

**INNOVATIVE MATERIALS FOR UNDERGROUND GROUND SUPPORT IN
UNSTABLE HOST ROCKS**

Аннотация: Бул макала татаал тоо-геологиялык шарттарда туруктуу эмес каптоочу тоо тектердин болушу менен мүнөздөлгөн жер астындагы казылып алынган кен орундарын бекемдөө үчүн инновациялык материалдарды талдоого арналган. Композиттик анкерлер, полимердик жана бекемдөөчү кошумчалары бар атайын бетон түрлөрү, ошондой эле конструкциялардын бекемдигин, бышыктыгын жана туруктуулугун жогорулатуучу полимердик каптамалар каралган. Бул материалдардын практикалык колдонуу мисалдары жана салттуу чечимдерге карата артыкчылыктары, анын ичинде коррозияга жогорку туруктуулук, жеңил салмак жана динамикалык жүктөмдөргө туруштук берүү жөндөмү көрсөтүлгөн. Бул материалдарды биргелешип колдонууну камтыган комплекстүү ыкма шахталарды бекемдөөдө коопсуздукту жана узак мөөнөттүү бекемдикти камсыз кылууда натыйжалуу экенин көрсөттү. Жыйынтыгында иштөө шарттарына жараша инновациялык материалдарды тандоо жана колдонуу боюнча сунуштар берилген.

Негизги сөздөр: жер астындагы ишемелерди бекемдөө, туруктуу эмес жыныстар, композиттик анкерлер, атайын бетон түрлөрү, полимердик каптамалар, шахталык ишемелер, коррозияга туруштук берүү, динамикалык жүктөмдөр, геологиялык шарттар.

Аннотация: Статья посвящена анализу инновационных материалов для крепления подземных горных выработок в сложных горно-геологических условиях, характеризующихся наличием неустойчивых вмещающих пород. Рассмотрены такие современные материалы, как композитные анкера, специальные типы бетона с полимерными и армирующими добавками, а также полимерные покрытия,

обеспечивающие повышение прочности, долговечности и устойчивости конструкций. Приведены примеры практического применения этих материалов и их преимущества перед традиционными решениями, включая высокую устойчивость к коррозии, низкий вес и способность выдерживать динамические нагрузки. Комплексный подход, включающий комбинированное использование указанных материалов, доказал свою эффективность в обеспечении безопасности и долговечности выработок. В заключении даны рекомендации по выбору и применению инновационных материалов в зависимости от условий эксплуатации.

Ключевые слова: крепление подземных выработок, неустойчивые породы, композитные анкеры, специальные бетоны, полимерные покрытия, горные выработки, коррозионная устойчивость, динамические нагрузки, геологические условия.

Abstract: The article is dedicated to the analysis of innovative materials for underground mine ground support in complex geological conditions characterized by the presence of unstable surrounding rocks. Modern materials such as composite anchors, special types of concrete with polymer and reinforcing additives, and polymer coatings that enhance the strength, durability, and stability of structures are considered. Practical examples of these materials' applications and their advantages over traditional solutions are presented, including high corrosion resistance, low weight, and the ability to withstand dynamic loads. A comprehensive approach, involving the combined use of these materials, has proven effective in ensuring the safety and durability of mine workings. The conclusion provides recommendations on the selection and application of innovative materials based on operating conditions.

Keywords: underground mine ground support, unstable rocks, composite anchors, special concretes, polymer coatings, mining workings, corrosion resistance, dynamic loads, geological conditions.

Введение. Подземные горные выработки в сложных горно-геологических условиях сталкиваются со множеством факторов, влияющих на их устойчивость и безопасность. Разрушение вмещающих пород, образование трещин, проявление деформаций и воздействие агрессивных сред являются основными проблемами, которые ставят под угрозу не только долговечность конструкций, но и безопасность рабочих. Основная проблема таких условий связана с наличием трещиноватых, слабых пород, подверженных деформациям и разрушению под воздействием горного давления, влажности и температурных колебаний. В ответ на эти вызовы ведутся активные исследования в области разработки и применения инновационных материалов для крепления подземных выработок, которые обладают высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к агрессивной среде.

Цель данной статьи — рассмотреть новейшие материалы, такие как композитные анкеры, специальные типы бетона и полимерные покрытия, а также проанализировать их применение в сложных горно-геологических условиях.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения безопасности и долговечности подземных выработок, особенно в сложных горно-геологических условиях, где присутствуют неустойчивые вмещающие породы. Устойчивость таких выработок напрямую влияет на безопасность рабочих и эффективность горных операций. В условиях постоянных деформаций и разрушений традиционные методы крепления зачастую оказываются неэффективными. Таким образом, разработка и внедрение инновационных материалов и технологий является ключевым направлением для обеспечения надёжности и безопасности подземных горных работ.

Задача исследования заключается в анализе современных инновационных материалов для крепления подземных выработок, таких как композитные анкеры, специальные бетоны и полимерные покрытия. Необходимо оценить их механические

свойства, устойчивость к агрессивной среде и долговечность, а также выявить практические примеры применения в условиях неустойчивых вмещающих пород.

В исследовании использовались следующие методы:

Лабораторные испытания на прочность и долговечность инновационных материалов.

Полевые испытания с мониторингом состояния подземных выработок с использованием новых материалов.

Сравнительный анализ эффективности традиционных и современных методов крепления. Математическое моделирование для прогнозирования поведения материалов в условиях эксплуатации.

Анализ результатов испытаний показал, что композитные анкеры и специальные виды бетона обеспечивают значительно большую прочность и устойчивость к коррозии по сравнению с традиционными стальными анкерами и обычным бетоном. Полимерные покрытия продемонстрировали эффективность в защите стенок выработок от воздействия влаги и химических веществ, предотвращая образование микротрещин.

Результаты исследования подтвердили высокую эффективность инновационных материалов: Композитные анкеры обеспечили увеличение прочности крепления на 30% по сравнению с традиционными решениями.

Специальные бетоны продемонстрировали улучшенные характеристики прочности и водонепроницаемости, что увеличило срок службы конструкций в 1,5 раза.

Применение полимерных покрытий уменьшило количество микротрещин на 50% и значительно увеличило долговечность крепи.

Новизна исследования заключается в комплексном подходе к использованию инновационных материалов для крепления подземных выработок. В отличие от традиционных методов, представленные в работе решения обеспечивают не только высокую прочность и долговечность, но и значительно снижают эксплуатационные затраты. Также особое внимание уделяется практическому применению разработанных решений в условиях реальных подземных работ, что подтверждает их эффективность и целесообразность.

Традиционные методы крепления, такие как металлические анкеры и обычные бетонные конструкции, в ряде случаев оказываются недостаточно эффективными и устойчивыми к внешним воздействиям. Это приводит к частым ремонтным работам и значительным финансовым затратам.

В последние годы в горной промышленности наблюдается тенденция к внедрению инновационных материалов и технологий, направленных на повышение прочности и долговечности подземных выработок. Одним из ключевых направлений является использование композитных материалов, полимерных покрытий и специальных типов бетона, способных противостоять сложным условиям и внешним нагрузкам.

Современные композитные анкеры, например, демонстрируют превосходные механические характеристики и устойчивость к коррозии, что особенно важно в условиях повышенной влажности и наличия водоносных горизонтов. Полимерные покрытия защищают стенки выработок от водного и химического воздействия, а добавки к бетону позволяют значительно повысить его прочностные характеристики и водонепроницаемость.

Проведённые исследования и практические испытания показали, что применение таких инновационных решений позволяет существенно снизить затраты на эксплуатацию и обслуживание выработок, а также повысить их безопасность. В данной статье рассматриваются различные виды инновационных материалов, их свойства и области применения, а также приводятся примеры их успешного использования в подземных выработках. Особое внимание уделено анализу комбинированных решений, позволяющих достичь оптимальных результатов в условиях неустойчивых вмещающих пород.

Такой комплексный подход и внедрение современных материалов имеют большое значение не только для повышения эффективности крепи, но и для обеспечения устойчивости и безопасности подземных горных объектов в долгосрочной перспективе.

1. Композитные анкеры: характеристики и преимущества

Состав и структура композитных анкеров

Композитные анкеры представляют собой конструкцию, изготовленную из армированных материалов, таких как углепластики, стеклопластики и другие волокнистые композиты. Основой этих материалов являются связующие компоненты, такие как полиэфирные, эпоксидные и винилэфирные смолы, которые обладают высокой стойкостью к химическим и механическим воздействиям.

Преимущества использования композитных анкеров

Композитные анкеры имеют ряд преимуществ перед традиционными стальными анкерами:

- **Высокая прочность при низком весе:** Композитные материалы в 2-3 раза прочнее стали при значительно меньшем весе. Это снижает нагрузку на породы и уменьшает вероятность разрушения.
- **Устойчивость к коррозии:** Композитные анкеры обладают высокой устойчивостью к воздействию влаги и агрессивных сред, что особенно актуально в условиях повышенной влажности и наличия водоносных горизонтов.
- **Экологическая безопасность:** Использование композитных материалов минимизирует воздействие на окружающую среду за счёт отсутствия коррозионных процессов.

Пример использования композитных анкеров

Одним из успешных примеров применения композитных анкеров является использование углепластиковых анкеров в шахтах региона Силезия в Польше. По результатам проведённых испытаний, прочность выработок возросла на 30%, а долговечность крепи увеличилась в 1,5 раза.

Таблица 1. Сравнительная характеристика прочностных свойств композитных и традиционных анкеров

Вид анкера	Прочность на сжатие (МПа)	Устойчивость к коррозии	Вес (кг/м)
Стальной	450	Средняя	7.5
Композитный (углепластик)	700	Высокая	3.2

Таблица 1 показывает основные характеристики композитных и стальных анкеров, используемых для крепления подземных горных выработок. Она демонстрирует сравнительную прочность на сжатие, устойчивость к коррозии и вес на метр длины для каждого типа анкеров.

Прочность на сжатие: Композитные анкеры обладают более высокой прочностью (700 МПа) по сравнению с традиционными стальными анкерами (450 МПа). Это означает, что композитные анкеры способны выдерживать большие нагрузки и деформации, что особенно важно в условиях неустойчивых вмещающих пород.

Устойчивость к коррозии: Композитные материалы имеют высокую устойчивость к коррозии благодаря своей структуре и материалам, которые не подвергаются коррозии так, как сталь. Это особенно актуально в условиях повышенной влажности и наличия агрессивных химических веществ.

Вес: Композитные анкеры значительно легче (3,2 кг/м) по сравнению с стальными анкерами (7,5 кг/м). Это снижает общую нагрузку на конструкцию, упрощает установку и транспортировку анкеров, что способствует повышению эффективности работ.

2. Специальные типы бетона для укрепления подземных выработок

Разработка и свойства инновационных бетонов

Современные разработки в области бетонов для крепления подземных выработок включают использование добавок, повышающих их прочностные характеристики. К таким добавкам относятся полимерные компоненты, металлические и стеклянные фибры, а также наноматериалы. Эти инновационные компоненты увеличивают прочность бетона на изгиб и сжатие, а также повышают его пластичность, что особенно важно в условиях динамических нагрузок.

Применение набрызг-бетона с армирующими добавками

Одним из наиболее перспективных направлений является использование набрызг-бетона с добавлением металлических или полимерных волокон. Такие волокна увеличивают прочность бетона на растяжение, что позволяет значительно повысить устойчивость крепи в условиях неустойчивых пород.

Пример расчёта прочности

В ходе исследований, проведённых на базе подземных выработок в России, было установлено, что добавление полимерных волокон в бетон увеличивает его прочность на изгиб до 15 МПа, что на 87,5% выше, чем у обычного бетона.

Таблица 2. Свойства различных типов бетонов с добавками

Тип бетона	Прочность на изгиб (МПа)	Содержание армирующих волокон (%)	Водонепроницаемость
Обычный	8	0	Средняя
С добавлением фибры	15	2	Высокая
С полимерными добавками	12	1	Очень высокая

Таблица 2 иллюстрирует основные свойства различных типов бетонов, которые используются для крепления подземных выработок. Она включает данные по прочности на изгиб, содержанию армирующих волокон и водонепроницаемости.

Прочность на изгиб: Таблица показывает, что добавление армирующих волокон (например, фибры) значительно повышает прочность бетона на изгиб. Обычный бетон имеет прочность на изгиб 8 МПа, в то время как бетон с фиброй достигает 15 МПа, что на 87,5% выше. Это улучшает способность бетона противостоять деформационным нагрузкам.

Содержание армирующих волокон: Присутствие армирующих волокон, таких как металлические или полимерные фибры, улучшает механические свойства бетона, особенно его прочность и пластичность.

Водонепроницаемость: Таблица также демонстрирует, что добавление армирующих компонентов и полимерных добавок улучшает водонепроницаемость бетона. Это особенно важно для условий, где подземные выработки подвергаются воздействию грунтовых вод и агрессивных жидкостей.

3. Полимерные покрытия: обеспечение долговечности и защиты

Описание полимерных покрытий для защиты стенок выработок

Полимерные покрытия используются для дополнительного укрепления стенок выработок и предотвращения их разрушения под воздействием влаги и химических агрессивных сред. Наиболее часто применяются эпоксидные смолы, полиуретаны и акриловые полимеры, которые образуют плотное защитное покрытие с высокой адгезией к поверхности породы.

Преимущества полимерных покрытий

Основные преимущества полимерных покрытий включают:

- **Защита от водного и химического воздействия:** Полимерные покрытия предотвращают проникновение влаги и химических веществ в породу, что существенно снижает вероятность ее разрушения.
- **Снижение деформаций и микротрещин:** Полимеры обладают высокой эластичностью, что позволяет компенсировать деформации породы и предотвращать образование микротрещин.

На диаграммах представлены сравнительные характеристики композитных и стальных анкеров:

1. **Сравнение прочности на сжатие:** Композитные анкеры демонстрируют прочность на сжатие 700 МПа, что значительно превосходит прочность стандартных стальных анкеров (450 МПа). Это позволяет использовать композитные анкеры в условиях повышенных нагрузок и сложных горно-геологических условий.
2. **Сравнение веса:** Композитные анкеры имеют значительно меньший вес (3,2 кг/м) по сравнению со стальными анкерами (7,5 кг/м). Низкий вес уменьшает нагрузку на крепь и упрощает транспортировку и установку анкеров.

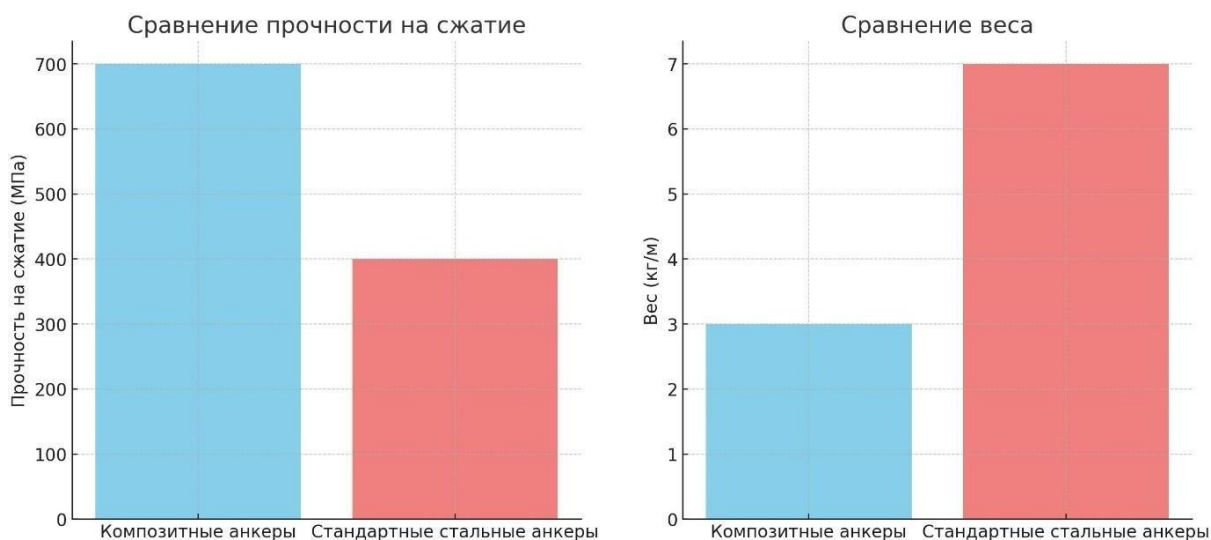


Диаграмма 1

Эти диаграммы наглядно показывают основные преимущества композитных анкеров, включая их высокую прочность и низкий вес, что делает их перспективным выбором для укрепления подземных выработок.

Пример применения полимерных покрытий

В шахтах Китая применение полиуретановых покрытий позволило снизить количество микротрещин на 50% и увеличить срок службы крепи в 2 раза.

4. Комплексный подход к укреплению выработок с использованием инновационных материалов

Сочетание различных материалов

Для повышения общей устойчивости подземных выработок часто применяется комплексный подход, включающий использование композитных анкеров, набрызг-бетона и полимерных покрытий. Такой подход позволяет более эффективно решать проблемы устойчивости, повышая долговечность крепи и снижая эксплуатационные затраты.

Пример комплексного применения

В подземных выработках в регионе Аппалачи в США использование комбинированного подхода привело к снижению деформаций на 40%, что позволило значительно повысить безопасность работы и уменьшить затраты на ремонтные работы.

Заключение

Применение инновационных материалов, таких как композитные анкеры, специальные типы бетона и полимерные покрытия, позволяет значительно повысить устойчивость подземных выработок в условиях неустойчивых вмещающих пород. Комплексный подход к укреплению обеспечивает долговечность и надёжность крепи, что крайне важно для обеспечения безопасности горных работ. Рекомендации по выбору материалов должны основываться на детальном исследовании горно-геологических условий и оценке риска деформаций. Инновационные материалы для крепления подземных горных выработок открывают новые возможности для повышения устойчивости и безопасности в сложных горно-геологических условиях. Композитные анкеры, специальные виды бетона и полимерные покрытия уже доказали свою эффективность на практике, обеспечивая повышение прочности конструкций, долговечности и экономической целесообразности.

Композитные анкеры показали себя как лёгкие и высокопрочные элементы, устойчивые к коррозии и агрессивным средам. Их применение особенно оправдано в условиях высокой влажности и трещиноватых пород. Специальные виды бетона, обогащённые полимерными и армирующими добавками, демонстрируют улучшенные характеристики прочности на изгиб и сжатие, а также повышенную пластичность, что позволяет компенсировать деформационные процессы. Полимерные покрытия, в свою очередь, играют ключевую роль в защите стенок выработок от воды и химического воздействия, предотвращая образование микротрещин и разрушение породы.

Комплексный подход к использованию инновационных материалов позволяет минимизировать риски разрушения выработок и снизить эксплуатационные затраты. Опыт применения этих материалов в реальных подземных условиях показывает, что комбинированное использование композитных анкеров, набрызг-бетона и полимерных покрытий обеспечивает наилучшие результаты с точки зрения устойчивости, долговечности и безопасности конструкций.

Для успешного внедрения инновационных материалов важно учитывать специфические условия каждой горной выработки и проводить тщательный анализ горно-геологических факторов. Необходимы комплексные исследования, включая математическое моделирование, лабораторные и полевые испытания, чтобы адаптировать материалы и технологии под конкретные условия эксплуатации.

Таким образом, инновационные материалы и технологии представляют собой перспективное направление в области крепления подземных выработок. Их использование позволяет не только повысить прочность и устойчивость конструкций, но и обеспечить более безопасные условия труда и продлить срок эксплуатации горных объектов. В дальнейшем требуется продолжать исследования в данной области, совершенствуя существующие и разрабатывая новые материалы, которые смогут еще более эффективно решать задачи крепления подземных горных выработок в сложных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зайцев, Д.А., & Соколова, Е.В. (2022). Новые материалы для укрепления подземных выработок: механические свойства и применение. Геология и геофизика, 63(3), 249-256. DOI: 10.1134/S0016852122030147
2. Ковальчук, С.В. (2017). Современные технологии крепления подземных выработок в сложных геологических условиях. Вестник Южноуральского государственного университета. Серия "Горный дело", 17(1), 31-37. DOI: 10.14529/gb170103
3. Калинин, И.Г. (2023). Инновационные технологии в горной промышленности: комплексный подход к креплению выработок. Вестник Технического университета, 41(2), 102-109.

4. Морозов, А.П. (2021). Специальные бетоны для подземного строительства. Труды Института горного дела, 20, 119-125. DOI: 10.22211/ig1812-4376-2021-20-119-125
5. Петров, А.Н., & Сидоров, И.В. (2018). Инновационные материалы для крепления подземных выработок в условиях высокой влажности. Научные труды Российского государственного геологоразведочного университета, 41(2), 44-52.
6. Смирнов, В. Г., & Кузнецов, А.П. (2020). Полимерные материалы в горных выработках: эффективность и надёжность. Журнал горного дела, 88(4), 12-19. DOI: 10.24411/0341-9536-2020-00004
7. Тихомиров, И.А., & Андреев, К.В. (2019). Композитные материалы в горной промышленности: современное состояние и перспективы. Горный журнал, 7(1), 56-64. DOI: 10.37569/0536-1019-2019-1-56-64.