

УДК 622.061

DOI 10.58649/1694-8033-2024-4(120)-407-411

**КАСЫМАЛИЕВ Д.Б.**  
ЖАК Кумтор Голд Комапни  
**КАСЫМАЛИЕВ Д.Б.**  
ЗАО Кумтор Голд Компани  
**KASYMALIEV D.B.**  
CJSC Kumtor Gold Company

ТАТААЛ ТОО-ГЕОЛОГИЯЛЫК ШАРТТАРДА ЖЕР АЛДЫНДАГЫ КЕН КАЗУУ  
ИШТЕРИНИН ТУРУКТУУЛУГУН КАМСЫЗ КЫЛУУ УЧУН КОМПЛЕКСТУУ ЫКМА

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ  
ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЯХ**

A COMPREHENSIVE APPROACH TO ENSURING THE STABILITY OF UNDERGROUND  
MINE WORKINGS IN COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS

**Кыскача мүнөздөмө:** Макалa татаал геологиялык шарттарда жер астындагы кен иштетүүлөрдүн туруктуулугун камсыздоого багытталган комплекстүү ыкма арналган. Анда гидрогеологиялык факторлордун, тектоникалык чыңалуулардын жана деформациялык процесстердин таасирине байланыштуу көйгөйлөрдү чечүүгө ылайыкташтырылган колдоо ыкмалары жана технологияларынын айкалышы каралат. Композиттик анклерлерди, күчөтүүчү жиптер менен аралаштырган бетонду, полимердик каптоолорду жана инъекция технологияларын колдонууга өзгөчө көңүл бурулат, алар суу менен ашыкча сууга туруктуулукка жана тектоникалык чыңалуулардын жогорулаган аймактарында натыйжалуу болуп чыгат. Бул ыкмаларды практикалык колдонуу мисалдары келтирилген, алар жер астындагы структуралардын коопсуздугу жана узак мөөнөттүү туруктуулугун жогорулатууга маанилүү салым кошоорун көрсөтөт. Жыйынтыктоодо, эксплуатация шарттарына жараша технологияларды тандоо жана колдонуу боюнча сунуштар берилет, бузулуунун тобокелдиктерин минималдаштырууга жана иштетүүлөрдүн узак мөөнөттүү туруктуулугун камсыздоого басым жасалат.

**Аннотация:** Статья посвящена комплексному подходу к обеспечению устойчивости подземных горных выработок в сложных геологических условиях. Рассматривается сочетание методов и технологий крепления, адаптированных для решения задач, связанных с воздействием гидрогеологических факторов, тектонических напряжений и деформационных процессов. Особое внимание уделено применению композитных анкеров, набрызг-бетона с армирующими волокнами, полимерных покрытий и инъекционных технологий, которые оказываются особенно эффективными в условиях повышенного насыщения водой и в зонах с повышенным тектоническим напряжением. Приводятся примеры практического применения данных методов, показывающие их значительный вклад в повышение безопасности и долговечности подземных конструкций. В заключение представлены рекомендации по выбору и применению технологий в зависимости от специфики условий эксплуатации, с акцентом на минимизацию риска разрушения и долгосрочную устойчивость выработок.

**Abstract:** The article is dedicated to a comprehensive approach to ensuring the stability of underground mining workings in complex geological conditions. It examines the combination of methods and technologies for support, adapted to address issues related to the impact of hydrogeological factors, tectonic stresses, and deformation processes. Special attention is given to the application of composite anchors, shotcrete with reinforcing fibers, polymer coatings, and

injection technologies, which prove particularly effective in conditions of increased water saturation and in zones with heightened tectonic stress. Examples of practical applications of these methods are provided, demonstrating their significant contribution to enhancing the safety and durability of underground structures. In conclusion, recommendations are presented for the selection and application of technologies based on the specific operating conditions, with an emphasis on minimizing the risk of failure and ensuring long-term stability of the workings.

**Негизги сөздөр:** жер астындагы казылмалардын туруктуулугу; татаал тоо-геологиялык шарттар; гидрогеологиялык факторлор; тектоникалык стресс; деформациялык процесстер; анкердик бекемдөө; набрызг-бетон; полимердик каптамалар.

**Ключевые слова:** устойчивость подземных выработок; сложные горно-геологические условия; гидрогеологические факторы; тектонические напряжения; деформационные процессы; анкерное крепление; набрызг-бетон; полимерные покрытия.

**Keywords:** stability of underground workings; complex geological conditions; hydrogeological factors; tectonic stresses; deformation processes; anchor support; shotcrete; polymer coatings.

Обеспечение устойчивости подземных горных выработок в сложных горно-геологических условиях является одной из ключевых задач горного дела. Горные породы в условиях повышенных нагрузок и динамических воздействий подвергаются значительным деформациям, что может приводить к обрушениям и разрушениям крепи. В таких условиях особенно важен комплексный подход, включающий применение различных методов и технологий крепления, адаптированных к конкретным условиям и параметрам каждой выработки. Настоящая статья рассматривает подходы к обеспечению устойчивости подземных выработок с учётом гидрогеологических факторов, тектонических напряжений и деформационных процессов.

#### **Влияние горно-геологических факторов на устойчивость выработок**

Сложные горно-геологические условия, такие как наличие тектонических разломов, зон повышенного напряжения, водоносных горизонтов и трещиноватых пород, создают дополнительные риски для устойчивости подземных конструкций. Эти условия требуют учёта нескольких ключевых факторов: [1]

- гидрогеологические условия: влияние водоносных горизонтов и повышенной влажности значительно ослабляют породы, способствуют развитию коррозии металлических элементов крепи и ускоряют разрушительные процессы;
- тектонические напряжения: зоны тектонических разломов создают локальные зоны повышенного напряжения, что увеличивает риск трещинообразования и обрушений;
- деформационные процессы: под воздействием горного давления породы могут деформироваться, приводя к изменению формы и размеров выработок.

Эти факторы требуют применения специфических методов крепления, способных противостоять различным типам нагрузок и воздействий.

#### **Методы крепления и их комбинированное применение [2]**

Для обеспечения устойчивости подземных выработок важно выбирать комбинацию методов крепления, которая бы учитывала все перечисленные факторы. Наиболее эффективными методами крепления являются:

- анкерное крепление: анкеры из стали или композитных материалов используются для укрепления стенок выработок и создания дополнительного сопротивления на уровне трещиноватых и слабых пород. Композитные анкеры особенно эффективны в условиях повышенной влажности благодаря их устойчивости к коррозии;
- набрызг-бетон: метод, при котором бетон с добавлением армирующих волокон наносится на стенки выработок, создаёт защитный слой, предотвращающий обрушение и уменьшение деформаций. Использование добавок, таких как полимерные волокна, позволяет значительно повысить прочностные характеристики бетона;

- полимерные покрытия: полимерные составы, такие как полиуретаны и эпоксидные смолы, используются для создания герметичных защитных покрытий, предотвращающих проникновение влаги и химически агрессивных веществ в породу. Это особенно актуально в условиях высокого содержания водоносных горизонтов;

- инъекционные технологии: введение цементных и полимерных растворов в поры породы позволяет укрепить ее структуру, заполнив пустоты и повышая несущую способность породного массива. [3]

- **Учёт гидрогеологических факторов при выборе методов крепления**

Гидрогеологические условия играют ключевую роль в проектировании крепи подземных выработок. Присутствие воды в породах способствует снижению их прочности и может вызывать химическое разложение крепёжных материалов. В таких условиях рекомендуется применение:

- водоотводящих дренажных систем: дренажные системы позволяют отводить воду от выработки, предотвращая насыщение пород влагой;

- влагостойких композитных анкеров и полимерных покрытий: эти материалы обладают высокой устойчивостью к воздействию влаги и способны эффективно противостоять процессам коррозии. [4]

- **Влияние тектонических напряжений и деформаций на выбор методов крепления**

Тектонические напряжения и процессы деформации пород приводят к постоянному изменению состояния выработок, что требует применения гибких и адаптивных методов крепления. К числу таких методов относятся:

- армированные набрызг-бетоны: использование бетонов с добавлением металлических или полимерных волокон позволяет повысить прочность на изгиб и пластичность, что помогает противостоять деформационным процессам; [5]

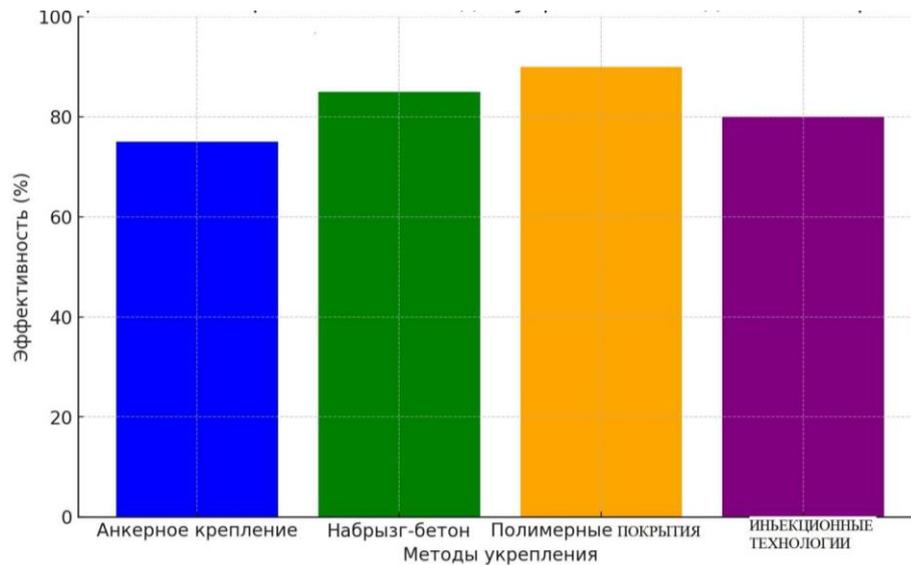
- инъекционные растворы с контролируемым временем схватывания: такие растворы используются для укрепления трещиноватых пород и компенсации тектонических напряжений, снижая риск трещинообразования и разрушения пород.

- **Примеры успешного применения комплексного подхода**

Опыт применения комплексного подхода к креплению подземных выработок показывает высокую эффективность сочетания различных методов крепления. Например:

- в шахтах, расположенных в тектонически активных регионах, таких как Альпы, успешно применялись комбинации анкерного и набрызг-бетонного крепления, что позволило повысить долговечность и устойчивость выработок;

- на объектах с высокой влажностью, таких как шахты Западной Европы, были внедрены влагостойкие полимерные покрытия и системы дренажа, что значительно уменьшило разрушительные процессы в породах.



**Рис. 1. Эффективность различных методов укрепления подземных выработок**

Диаграмма показывает разную степень эффективности используемых методов крепления для поддержания устойчивости подземных выработок: анкерное крепление, обеспечивающее дополнительную поддержку и защиту стенок выработок, – 75%; набрызг-бетон – метод, создающий защитный слой на стенах выработки, предотвращая обрушения и уменьшение деформаций, – 85%; полимерные покрытия, обеспечивающие защиту от воздействия влаги и агрессивных химических веществ, – 90% [6]; инъекционные технологии, позволяющие заполнять трещины и поры, повышая прочность и устойчивость горных пород – 80%.

#### **Рекомендации по выбору методов крепления**

Для выбора оптимальной комбинации методов крепления подземных выработок рекомендуется учитывать следующие факторы:

- проведение анализа гидрогеологических и тектонических характеристик пород;
- применение математического моделирования для оценки потенциальных деформаций и нагрузок;
- учёт опыта применения различных методов крепления в аналогичных условиях для выбора наиболее эффективной стратегии. [7]

Комплексный подход к обеспечению устойчивости подземных выработок в сложных горно-геологических условиях требует интеграции различных методов и технологий, учитывающих гидрогеологические, тектонические и деформационные факторы. Этот подход не только улучшает общую безопасность подземных сооружений, но и способствует более эффективному управлению ресурсами и снижению затрат на ремонт и восстановление.

Сочетание анкерного крепления, набрызг-бетона, полимерных покрытий и инъекционных технологий предоставляет многогранные решения для повышения прочности и устойчивости выработок. Анкерное крепление обеспечивает надёжную фиксацию конструкции, в то время как набрызг-бетон создаёт дополнительный уровень защиты от внешних воздействий. Полимерные покрытия служат барьером для агрессивных сред и повышают долговечность материалов. Инъекционные технологии позволяют эффективно заполнять трещины и поры, что значительно снижает риск обрушения и деформации. [8]

Опыт практического применения этих решений на различных объектах демонстрирует высокую эффективность комплексного подхода, обеспечивающего устойчивость выработок в долгосрочной перспективе. Результаты испытаний показывают,

что правильный выбор и комбинация технологий могут значительно увеличить срок службы подземных сооружений и снизить вероятность аварийных ситуаций.

В заключение следует подчеркнуть важность постоянного мониторинга и анализа условий эксплуатации подземных выработок, что позволит своевременно корректировать используемые методы и технологии в соответствии с изменяющимися условиями и требованиями. Инвестиции в комплексный подход к обеспечению устойчивости подземных горных выработок не только оправданы, но и необходимы для достижения высоких стандартов безопасности и долговечности в горной отрасли.

#### Список использованной литературы

1. Джусупов Б.Д., Казакбаев И.К. Влияние тектонических напряжений на устойчивость подземных горных выработок // Горный журнал, 2015, №1, с. 29-34.
2. Терещук Р.Н. Управление устойчивостью горных выработок с анкерной крепью // ГИАБ, 2013, №7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-ustoychivostyu-gornyh-vyrabotok-s-ankernoj-krepyu> (дата обращения: 03.11.2024).
3. Интеграция отечественных и зарубежных классификаций устойчивости массива пород для обоснования крепления выработок / С.А. Неверов, Ю.Н. Шапошник, А.А. Неверов, А.И. Конурин. – Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/2079/article/34768/>
4. Луганцев Б.Б. Обеспечение устойчивости подземных горных выработок в трещиноватом породном массиве: дисс. док. техн. наук: 25.00.22 Геотехнология. Шахты, 2002, 287 с. – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/obespechenie-ustoichivosti-podzemnykh-gornyx-vyrabotok-v-treshchinovatom-porodnom-massive>
5. Петров Н.А., Черных Л.А. Технологии применения набрызг-бетона с армирующими волокнами в подземных выработках // Горные науки и технологии, 2019, № 4(2), с. 21-28.
6. Семенов В.К., Котов П.Ю. Применение полимерных покрытий для защиты подземных конструкций в условиях повышенной влажности // Горное оборудование и электромеханика, 2020, № 3, с. 50-55.
7. Иванов С.В. Композитные материалы для крепления горных выработок: проблемы и перспективы // Вестник Горного института, 2017, № 226, с. 87-93.
8. Мухин Ю.Н. Инъекционные технологии укрепления породного массива подземных выработок // Строительство и геотехника, 2016, № 3, с. 97-103.