

УДК 622.271:622.68:004.94:330.45

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТОИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ КРЕПЛЕНИЯ УСТУПОВ КАРЬЕРА**

Назарян Г.Г., студент гр. ЭБбтс-241, II курс  
Научный руководитель: Тюленева Т.А., к.э.н., доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Современная горная промышленность России столкнулась с тенденцией постепенного углубления действующих карьеров. Это объективный процесс, продиктованный истощением запасов на верхних горизонтах и необходимостью поддержания проектной мощности предприятий. Однако увеличение глубины выработки неизбежно влечет за собой рост напряжений в массиве горных пород, что повышает вероятность геомеханических нарушений. В связи с этим вопросы обеспечения устойчивости бортов карьера выходят на первый план как с точки зрения промышленной безопасности, так и с позиции экономической стабильности производства.

Ситуация осложняется тем, что в последние годы наблюдается значительный рост цен на строительные материалы, горношахтное оборудование и энергоносители. Стоимость металла для анкеров, цемента для бетонных смесей и топлива для тяжелой техники увеличивается опережающими темпами. В таких условиях главный инженер предприятия оказывается перед сложным выбором: реализовать максимально надежный, но дорогостоящий проект крепления или попытаться оптимизировать бюджет, рискуя получить предписания от надзорных органов или, что хуже, аварийную ситуацию. К сожалению, в отраслевой практике преобладает подход, при котором экономическое обоснование метода крепления осуществляется по остаточному принципу. Чаще всего сметы составляются формально, без учета альтернативных вариантов и долгосрочных последствий принятого решения.

Для корректного сравнения необходимо подробно остановиться на технологической сути рассматриваемых методов. В рамках данного исследования были проанализированы четыре наиболее распространенных подхода, применяемых на отечественных карьерах [1-6].

Первым и наиболее интуитивно понятным способом является планировка или выполаживание откосов. С инженерной точки зрения это решение выглядит привлекательно своей простотой: угол откоса уменьшается до значений, при которых массив становится устойчивым без дополнительного усиления. Казалось бы, здесь не требуется закупка дорогостоящих материалов или привлечение специализированных подрядчиков. Однако экономическая природа этого метода обманчива. Уменьшение угла откоса приводит к увеличению объема вскрышных работ, так как для сохранения ширины площадки

необходимо отодвинуть борт карьера дальше в контур месторождения. Это влечет за собой два негативных последствия: рост операционных затрат на выемку и транспортировку дополнительной вскрыши, а также безвозвратную потерю запасов полезного ископаемого, которые остаются в расширенных бортах. Таким образом, низкая прямая стоимость работ маскирует существенные скрытые убытки.

Вторым методом, который часто применяется на скальных породах, является анкерное крепление. Третий вариант, торкретирование или набрызгбетон, предполагает нанесение слоя бетона на поверхность откоса, часто с использованием армирующей сетки. Четвертый метод, габионные конструкции, представляет собой укладку камня в металлические сетчатые корзины. Однако монтаж конструкции является трудоемким процессом, часто требующим ручного труда в опасной зоне near откоса, что повышает требования к охране труда и может замедлять темпы работ.

Чтобы сравнение было объективным, в данном исследовании использовался подход, основанный на оценке совокупной стоимости владения на горизонте пяти лет. Это позволяет учесть не только первоначальные капитальные вложения, но и эксплуатационные расходы, которые неизбежно возникают в процессе жизнедеятельности карьера.

Расчет приводимых затрат осуществлялся с учетом фактора времени. Для дисконтирования денежных потоков была принята ставка, соответствующая средневзвешенной стоимости капитала для горнодобывающих предприятий, что составило 12% годовых. В модель также была включена оценка рисков. Под риском понимается потенциальный ущерб от нарушения устойчивости борта, который может выражаться в простое оборудования, затратах на ликвидацию последствий обрушения или даже штрафных санкциях со стороны надзорных органов. Хотя точно предсказать аварию невозможно, вероятность ее возникновения зависит от надежности выбранного метода крепления, и это должно находить отражение в экономической модели.

Для унификации расчетов все затраты были приведены к одному погонному метру укрепляемой бровки уступа стандартной высоты 15 м. Ценовые параметры брались на основе среднерыночных данных по состоянию на начало 2025 года.

Таблица 1. Сравнительная стоимость крепления 1 погонного метра уступа  
(тыс. руб.)

| Статья затрат               | Планировка       | Анкерное крепление        | Торкретирование      | Габионы               |
|-----------------------------|------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|
| Материалы                   | 0                | 450 (анкеры, плиты)       | 380 (бетон, сетка)   | 250 (габионы, камень) |
| Работы (техника + персонал) | 120 (экскаватор) | 350 (бурильная установка) | 400 (торкрет-машина) | 300 (монтаж вручную)  |
| Транспортная логистика      | 0                | 100                       | 150                  | 50                    |
| Итого CAPEX                 | 120              | 900                       | 930                  | 600                   |

|                      |                      |                            |                       |                       |
|----------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Эксплуатация (в год) | 10<br>(маркшейдерия) | 50 (контроль<br>натяжения) | 30 (ремонт<br>трещин) | 20 (досыпка<br>камня) |
| Срок монтажа         | 1 смена              | 3 смены                    | 4 смены               | 5 смен                |

Полученные в ходе моделирования данные позволяют выстроить определенную иерархию методов с точки зрения прямых затрат. Если рассматривать исключительно сумму, необходимую для реализации проекта на начальном этапе, то лидером оказывается планировка откосов. Затраты здесь формируются преимущественно за счет работы экскаватора и не требуют закупки специфических материалов. Однако, как уже упоминалось ранее, эта дешевизна является иллюзорной. При детальном расчете с учетом объема дополнительной вскрыши, которую необходимо переместить для формирования пологого откоса, стоимость метода возрастает многократно. Кроме того, нельзя игнорировать потерю балансовых запасов ископаемого. Если месторождение богато ценным полезным ископаемым, то оставление его в бортах ради экономии на креплении может стать стратегической ошибкой, последствия которой проявятся через несколько лет в виде недополученной прибыли.

Анкерное крепление демонстрирует высокие первоначальные затраты, которые могут в несколько раз превышать стоимость планировки. Торкретирование в проведенном сравнении оказалось одним из самых дорогих вариантов. Это связано в первую очередь с логистической составляющей. Доставка бетона на высоту уступа требует организации специальных подъездных путей или использования техники с длинными стрелами, что значительно удорожает машино-час работы. Кроме того, бетонные конструкции требуют постоянного ухода и ремонта трещин, которые неизбежно появляются под воздействием вибрации от взрывных работ и тяжелой техники. Эти эксплуатационные расходы, растянутые во времени, существенно снижают экономическую привлекательность метода.

Габионные конструкции занимают промежуточное положение. Их стоимость сильно зависит от доступности камня. Если карьер вскрывает скальные породы, которые можно использовать для заполнения коробов, метод становится весьма конкурентоспособным. Если же камень приходится завозить со стороны, транспортные расходы делают габионы экономически нецелесообразными. Еще одним фактором является скорость монтажа. Установка габионов требует времени и присутствия людей в опасной зоне, что может приводить к простоям на соседних участках производства из-за требований безопасности. Этот фактор скрытых потерь часто не отражается в сметах, но реально влияет на выполнение производственной программы.

Невозможно говорить об экономической эффективности методов крепления в отрыве от конкретных условий залегания полезного ископаемого. То, что выгодно на одном месторождении, может быть убыточным на другом. Например, применение анкеров в глинистых грунтах технически неэффек-

тивно, так как несущая способность породы недостаточна для удержания стержня. Напротив, использование габионов в крепких скальных породах избыточно, так как устойчивость массива не требует дополнительного подпора у поверхности.

Важным аспектом, который часто упускается из виду, является стоимость мониторинга [1]. Любая конструкция крепления требует контроля своего состояния. Анкеры нужно проверять на натяжение, торкрет осматривать на предмет отслоений, габионы досыпать камнем при просадке. Эти работы требуют привлечения маркшейдерских служб и специализированного оборудования. Дальнейшие исследования в этой области целесообразно направить на разработку автоматизированных систем поддержки принятия решений, которые могли бы оперативно рассчитывать экономическую эффективность различных вариантов крепления на основе актуальной геологической модели и текущих рыночных цен.

### Список литературы:

1. Несмеянов, Б. В. Устойчивость бортов карьеров при последовательной подземно-открытой разработке месторождений : монография / Б. В. Несмеянов, Ю. Б. Несмеянова. - Москва : Изд. Дом МИСиС, 2014. - 230 с. - ISBN 978-5-87623-826-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1222118> (дата обращения: 17.02.2026). – Режим доступа: по подписке.
2. Логинов, Е. В. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата / Е. В. Логинов, Т. А. Тюленева // Уголь. – 2021. – № 12(1149). – С. 6-10. – DOI 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10. – EDN QIGUUA.
3. Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии / М-во металлургии СССР, УНИПРОмедь; [Сост. В.И. Зобнин и др.]. — М. : М-во цв. металлургии СССР, 1989. — [1], 128 с. ил.; 20.
4. Методика оценки устойчивости бортов карьера / Алимжан Аманжолулы, Ислам Алиханулы Алиханов, Н. Р. Тезекпаев [и др.]. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 48.1 (547.1). — С. 12-15. — URL: <https://moluch.ru/archive/547/119780>.
5. Волохов А. В. Прогнозная оценка устойчивости бортов карьера // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. №2 (22). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognoznaya-otsenka-ustoychivosti-bortov-kariera> (дата обращения: 17.02.2026).
6. Калюжный А. С. Анализ результатов оценки устойчивости борта карьера при плоском и объемном вариантах расчета // ГИАБ. 2021. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-rezultatov-otsenki-ustoychivosti-borta-kariera-pri-ploskom-i-obemnom-variantah-rascheta> (дата обращения: 17.02.2026).

