

*Калдыбаев Н. А., канд. техн. наук,
ст. научный сотрудник, nurlan67@mail.ru
ОшГУ, Кыргызстан*

ПРИНЦИПЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ КАРЬЕРОВ

В статье рассмотрена методика выбора показателей эффективного применения горных машин и оборудования в условиях эксплуатации в малых карьерах по добыче строительных материалов. Проанализированы алгоритм и экономико-математические модели, позволяющие оптимизировать показатели эксплуатации горной техники. На основе анализа характеристик технологических схем организации горных работ в карьерах выбран мобильный критерий оценки эффективности горных машин. Сформулированы научные принципы по обеспечению эффективности горного оборудования на ранних стадиях проектирования.

***Ключевые слова:** нерудные полезные ископаемые, малые карьеры, моделирование технологического процесса открытых горных работ, мобильный критерий оценки эффективности горных машин.*

*Калдыбаев Н. А., техн. илим. канд.
nurlan67@mail.ru
ОшГУ, Кыргызстан*

**РУДА ЭМЕС ПАЙДАЛУУ КЕНДЕРДИ КАЗЫП АЛУУНУН
ТЕХНОЛОГИЯЛЫК ПРОЦЕССИН ОПТИМАЛДУУ
УЮШТУРУУНУН ЖАНА ЧАКАН КАРЬЕРЛЕРДИН
ШАРТТАРЫНДА ТОО-КЕН МАШИНАЛАРЫН НАТЫЙЖАЛУУ
ПАЙДАЛАНУУНУН ПРИНЦИПТЕРИ**

Макалада курулуш материалдарын казып алуу боюнча чакан карьерлердин шарттарында тоо-кен машиналарын жана жабдууларын натыйжалуу колдонуу көрсөткүчтөрүн тандоо методикасы каралды. Тоо-кен техникасын эксплуатациялоонун көрсөткүчтөрүн оптималдаштырууга мүмкүндүк берүүчү алгоритм жана экономикалык-математикалык моделдер талданды. Карьерлерде тоо-кен иштерин уюштуруунун технологиялык схемаларынын мүнөздөмөлөрүн талдоонун негизинде, тоо-кен машиналарынын натыйжалуулугун баалоонун мобилдик критерийи тандалды. Долбоорлоонун алгачкы стадияларында тоо-кен жабдууларынын натыйжалуулугун камсыз кылуу боюнча илимий принциптер иштелип чыкты.

Өзөктүү сөздөр: *руда эмес пайдалуу кендер, чакан карьерлер, ачык тоо-кен технологиялык процессин моделдөө, тоо-кен машиналарынын натыйжалуулугун баалоонун мобилдик критерийи.*

*Kaldybaev N. A., cand. techn. science
nurlan67@mail.ru
Osh TU, Kyrgyzstan*

**PRINCIPLES OF OPTIMAL ORGANIZATION OF THE
TECHNOLOGICAL PROCESS OF EXTRACTION OF NON-
METALLIC MINERALS AND EFFECTIVE USE OF MINING
MACHINES IN SMALL QUARRIES**

The article discusses the methodology for selecting indicators of the effective use of mining machines and equipment in operating conditions in small quarries for the extraction of building materials. The algorithm and economic and mathematical models allowing to optimize indicators of operation of mining equipment are analyzed. Based on the analysis of the characteristics of technological schemes for the organization of mining operations in quarries, a mobile criterion for evaluating the effectiveness of mining machines was selected. The scientific principles for ensuring the efficiency of mining equipment at the early stages of design are formulated.

Keywords: *non-metallic minerals, small quarries, modeling of the technological process of open-pit mining, mobile criterion for evaluating the effectiveness of mining machines.*

Кыргызская Республика считается сравнительно богатой по запасам полезных ископаемых. Однако, как показывает мировая практика, любые запасы природных ресурсов со временем истощаются и проблема ресурсосбережения является весьма актуальной. Как показывает практика добычных работ, еще со времен существования Советского Союза сложилась такая ситуация, что разработка месторождений с малыми запасами (т.е. менее 1 млн м³) откладывались на более “лучшие” времена.

Изучение материалов геологических фондов показывает, что по статистике в среднем на 1 крупное месторождение нерудных строительных материалов (НСМ) приходится от 3 до 10 малых месторождений НСМ. По многим видам НСМ (такие как гравийно-песчаные материалы, песок и глинистое сырье) суммарные запасы малых месторождений, вместе взятые превышают суммарные запасы крупных месторождений. По результатам сравнения экономического потенциала различных видов НСМ выявлено, что отработка малых месторождений облицовочных и декоративно-облицовочных камней будет прибыльной независимо от количества запасов, так как облицовочные изделия на мировом рынке всегда пользуются спросом и имеют более высокие цены. Основной проблемой при освоении малых и техногенных месторождений является обеспечение эффективности горного оборудования, так как существующий парк горно-транспортной техники рассчитан на высокую проектную мощность карьера.

Установление областей эффективного применения карьерной техники требует проведения детального анализа экономико-математических моделей открытых горных работ. Рассмотрим основные показатели эксплуатации карьерного экскаватора, являющегося основным оборудованием для обеспечения рабочего цикла технологического процесса добычи полезных ископаемых. Экскаватор фактически служит для выполнения двух технологических операций: непосредственного копания и перемещения материала к месту отвала либо к точке погрузки. В последнее время к гидроприводу экскаватора возложена еще одна операция, связанная с разрушением горных пород. В частности, при добыче блоков природного камня экскаватор «Хундай» дополнительно оснащается гидроклином, предназначенным для отделения блока от камня.

Анализ литературных источников показывает, что основной характеристикой карьерного экскаватора является емкость его ковша. В зависимости от модели она может достигать 50 м³. Чем больше вместительность, тем выше производительность экскаватора, поскольку возрастает объем грузов, которые он способен переместить за один раз. Кроме того, имеют значение следующие характеристики данной техники:

- длина стрелы – до 55 м (в строительных экскаваторах обычно до 12 м);
- скорость перемещения экскаватора – до 2,5 км/ч;
- рабочий цикл – порядка 50 с;
- ширина гусеницы – до 24 м;
- радиус черпания и выгрузки – до 24 м;
- радиус копания и зачистки – до 30 и 20,4 м соответственно;
- высота разгрузки и копания – до 24 и 21 м соответственно;
- давление на грунт – до 0,42 МПа.

Изучение опыта эксплуатации карьерной горнотранспортной техники по литературным источникам показывает, что горнотранспортное оборудование много простаивает [1,2]. В месторождениях со сложными горнотехническими условиями коэффициент использования горных машин не превышает 0,35-0,51. При этом анализ показывает, что простой оборудования приходится в основном на плановые техобслуживание и ремонты (рис.1).

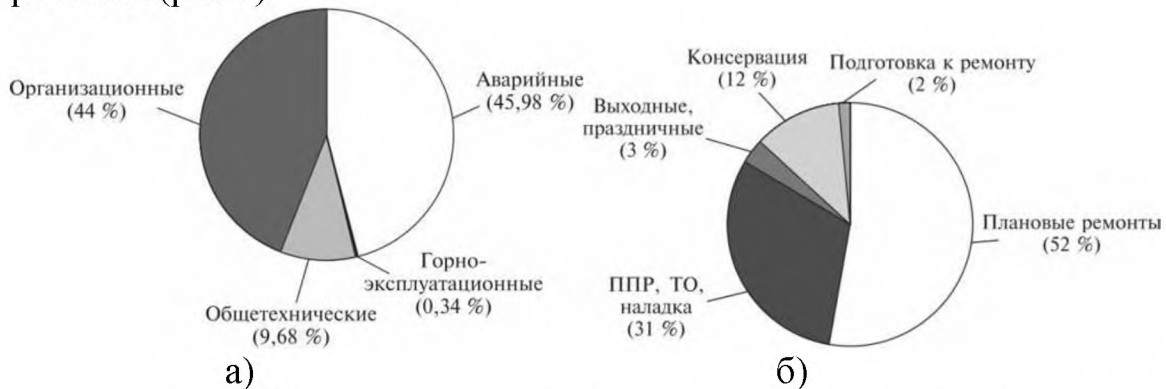


Рисунок 1. Составляющие простоев экскаваторов: а) планируемые; б) неплановые

Как правило, с увеличением срока эксплуатации карьерного и горнотранспортного оборудования продолжительность ремонтов ежегодно увеличивалась на 10—12 %. Большие простои машин в ремонтах объясняются несовершенством системы ППР, слабой ремонтной базой, нестабильностью материально-технического снабжения, недостаточной эксплуатационной и ремонтной технологичностью. На длительность простоев горнотранспортной техники в ремонте влияют также несоблюдение сроков остановки машин на ремонт, нарушение режима смазки, несвоевременность наладки параметров электрических цепей, низкая квалификация машинистов и ремонтников.

Конструкторам горных машин следует учесть, что к аварийным простоям экскаваторов чаще всего приводят электрическая часть (48,96 %) и механическая часть оборудования (47,53%), чем свидетельствуют результаты хронометражного наблюдения, приведенные на рис. 2. а. Из практики эксплуатации горного оборудования известно, что меньшей надежностью характеризуются быстроизнашиваемые элементы, такие как подъемные канаты и элементы тормоза механизма подъема, значительная часть отказов связана с разрушением элементов несущих конструкций, выходных валов зубчатых колес механизмов привода.

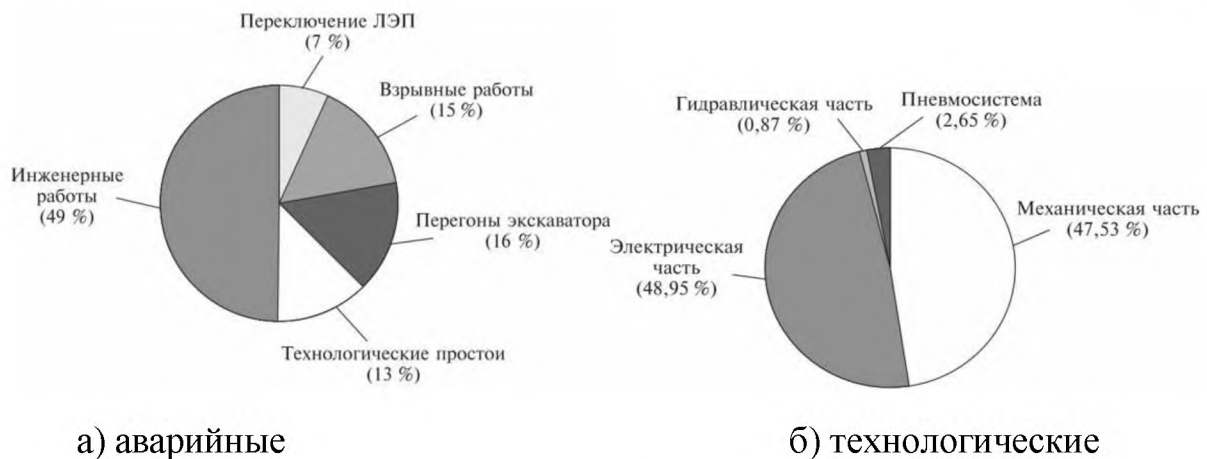


Рисунок 2. Основные составляющие простоев экскаваторов:
 а) по причине аварии; б) по технологическим причинам

С точки зрения достижения поставленных нами задач исследований наибольший интерес вызывают причины технологических простоев экскаваторов, представленные на рис. 2. б. Как видно из рисунка, почти половину объема технологических простоев экскаватора (49%) составляют инженерные работы, связанные с обеспечением углов откоса борта карьера и выполнением других сопутствующих работ. Перегоны экскаваторов занимают примерно 16% рабочего времени и данный факт свидетельствует о резервах по совершенствованию технологической схемы организации горных работ. В скальных породах подготовка к выемке сопровождаются взрывными работами, занимающими тоже значительную долю времени (15%).

Вышеуказанные факторы подчеркивают необходимость разработки мер по эффективному использованию горных машин в малых карьерах с учетом реальных технико-экономических условий эксплуатации и технологической схемы организации горных работ.

Современные горные технологии затрагивают комплекс, связанные с планированием, эксплуатацией и экологическими последствиями горного производства и рассматриваются как система воздействий на природную среду. Модели технологического процесса разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом изложены в работах [4,7,9]. С позиции теории технической системы технологическую систему добычи полезных ископаемых открытым способом представляют производственные и рабочие процессы, представленные на рис.3. Основной горной выработкой при этом является карьер, которого отличают сложные структурные связи технологических элементов, звеньев и объектов, а также динамичность, которая заключается в дискретно-непрерывном изменении технологической системы во времени и пространстве (вскрыша и добычные работы, перемещение пустых пород и полезного ископаемого).

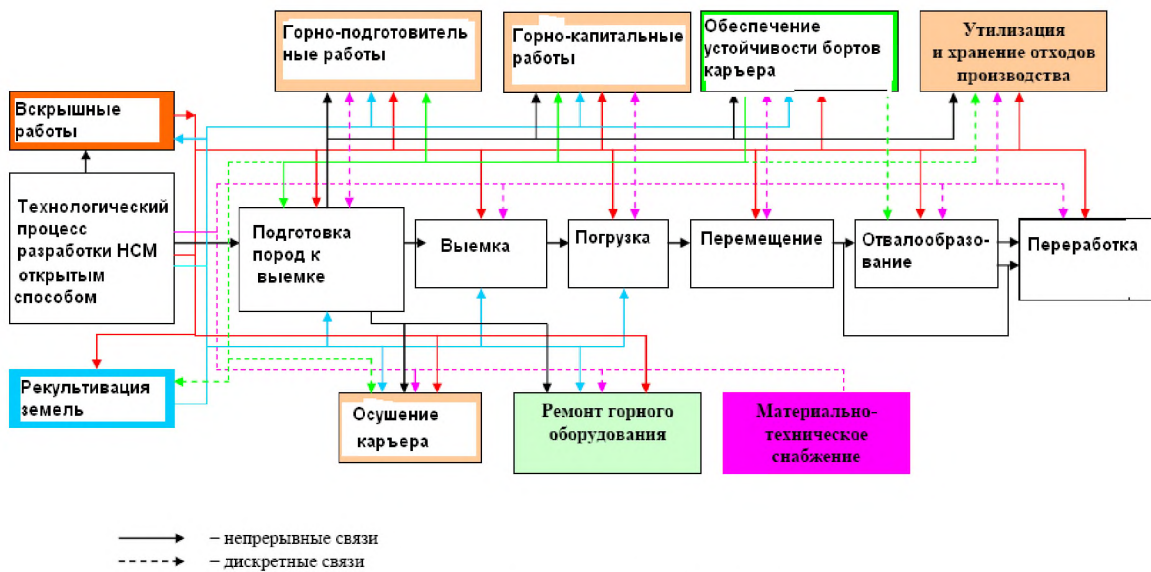


Рисунок 3. Технологическая схема функционирования карьера

Модель системы технологии иллюстрирует абстрактную взаимосвязь между ее элементами, подсистемами, определениями и терминами. Она также дает возможность представления реальной технологической системы или процесса физическими или математическими средствами.

Учитывая разнообразие и большое множество факторов, влияющих на разработку месторождений, для полноценного анализа и синтеза технологического процесса разработки малых месторождений НСМ потребуется также использование методов математического и компьютерного моделирования. В решении задач планирования и проектирования горных работ наиболее привлекательные результаты обеспечивает применение ГИС-технологий, обеспечивающие наглядность и высокую степень автоматизации работ. В дальнейших исследованиях будет проведен подробный анализ рассматриваемого процесса с применением указанных методологий, позволяющий совершенствовать технологию разработки малых месторождений строительных материалов.

В условиях малого карьера организация технологического процесса должна обосновываться в первую очередь экономическими критериями. Это обусловлено ограниченными запасами полезного ископаемого и вытекающей отсюда малой годовой мощностью карьера. В некоторых случаях влияют кратковременность и сезонность проводимых горных работ. При этом решение задач оптимального использования с обеспечением максимальной КПД эксплуатируемой горной техники требует тщательного экономического обоснования. В качестве основных показателей, характеризующих экономическую эффективность, приняты

чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности дисконтированных инвестиций (ИДД), срок окупаемости с учётом дисконтирования, точка безубыточности. Методика определения данных показателей широко освещена в литературных источниках [1,5,6,7,8].

В зависимости от значимости, масштабности проекта и условий привлечения денежных ресурсов перечень показателей эффективности может быть расширен.

Основополагающими при формировании показателей эффективности являются совокупные результаты, текущие и единовременные затраты с учётом инфляции в условиях рыночной экономики. При этом уровень показателей зависит от затрат, направляемых на реализацию инноваций и достижений научно-технического прогресса.

При постановке и решении локальных (частных) задач механизации горных работ целесообразным является наличие мобильного критерия эффективности. Мобильный критерий эффективности не должен противоречить затратам на реализацию инноваций и прямо пропорционально определять их уровень.

Мобильный критерий эффективности должен иметь следующие характеристики:

- 1) определять выгодность выбранного варианта;
- 2) выражаться количественно;
- 3) для решаемой задачи должен быть один (в задачах низшего уровня могут быть другие критерии, не противоречащие принятому критерию эффективности);
- 4) определяться точно и быстро без больших затрат времени;
- 5) обеспечивать учёт всех существенных сторон решаемой задачи;
- 6) иметь физический смысл, что делает его понятным и осязаемым.

В соответствии с рекомендациями литературных источников, область эффективного применения машин устанавливается по минимуму себестоимости единицы объёма работ $C_{ед}$ [2].

Значения себестоимости зависят от многих факторов, характеризующих условия горных работ. При определении области эффективного применения горных машин одной из важнейших задач является правильный отбор подобных факторов. Целесообразно учитывать главнейшие факторы, оказывающие наибольшее влияние на величину себестоимости и существенно изменяющие её на различных карьерах и участках работ.

Для горных машин такими являются факторы, характеризующие карьер (глубина карьера, коэффициент вскрыши, длина фронта работ, устойчивость бортов, сменная производительность, объём работ и др.), и факторы, влияющие на эксплуатационную часовую производительность

машин (высота уступа, расстояние до отвала, крепость разрабатываемых пород др.).

После соответствующих математических преобразований, формулу себестоимости можно представить в качестве исходного рабочего соотношения, позволяющего получить любые частные уравнения для конкретных марок машин:

$$C_{\text{дд}q} = \frac{\dot{E}\tilde{N}^0}{Q} = \frac{\dot{E}(\tilde{N}_e + \tilde{N}_a)}{Q} = k_{i,d}(\tilde{N}_a \frac{1}{\tilde{O}_a} + \tilde{N}_{\text{одд}e})_q \frac{\dot{E}}{\dot{I}_{\text{д}yq}} + \frac{\dot{E}}{Q}(C_{\text{д}i} + \tilde{N}_o L_o)_q, \quad (1),$$

где $C_{\text{т.п}q}$ – затраты на транспортировку и монтаж-демонтаж машины типоразмера q , не зависящие от расстояния транспортировки (погрузка и отгрузка, установка рельсов, сооружение фундаментов и т. д.), сом; $C_{\text{т}q}$ – затраты на транспортировку машины типоразмера q на расстояние 1 км, сом/ км; $L_{\text{т}q}$ – расстояние транспортировки машины типоразмера q , км.

Себестоимость работ наряду с условиями проведения горных работ зависит от годового фонда рабочего времени машины Φ_z предопределяющей непроизводительные расходы от простоя машины, а также от эксплуатационной часовой производительности $\Pi_{\text{ч}q}$ конкретных горных машин. Следовательно, выражение (1) может использоваться для определения областей эффективного применения горной техники. Построив графики себестоимости работ для конкурирующих машин, можно проследить какие из всех рассматриваемых машин целесообразно использовать в данных условиях, чтобы обеспечить минимальные затраты.

Таким образом, предлагаемый мобильный критерий эффективности горных машин позволяет рационально использовать машины одинакового назначения в зависимости от различных условий и объема работ, с наименьшими затратами. В условиях малых карьеров, характерных для горных предприятий нерудных строительных материалов, данный фактор имеет важное экономико-организационное значение, способствует эффективному использованию имеющегося парка горной техники. Кроме того, анализ по данной методике позволяет выявлять резервы повышения их КПД, в том числе конструктивно-технического характера.

Эффективность освоения малых месторождений повышается посредством максимизации чистого дисконтированного дохода с учетом пространственного взаимного расположения добычных участков и перерабатывающего цеха (в первую очередь, дальности транспортировки полезного ископаемого). С целью прогноза и создания опережающих технологий для освоения малых месторождений НСМ в результате проведенных нами исследований предложены ряд технических решений (табл.1). Создание гибких технологических линий, ориентированных на выпуск большего количества видов продукции, в том числе на горнодобывающих предприятиях, на которых НСМ не являются основной продукцией (асбестовая, цементная, рудная и другие отрасли промышленности) значительно повышает их рентабельность.

Таблица 1.

Пути оптимальной организации технологии горных работ применительно к освоению малых месторождений нерудных строительных материалов

Технологические процессы, подлежащие к совершенствованию	Предлагаемые технические решения	Достижимый эффект
Подготовка пород к выемке	-ослабление массива поверхностно-активными веществами или гидромониторным способом; -использование менее энергозатратных способов разрушения пород (гидромотолы, гидроклинья).	-рост производительности труда и снижение себестоимости добычи
Выемочно-погрузочные работы	-использование малогабаритных погрузочных машин с высоким КПД; -совмещение операций выемки и погрузки; -внедрение системы дистанционного управления стационарным и передвижным карьерным оборудованием.	-экономия людских и финансовых ресурсов
Перемещение горной породы	-бестранспортное перемещение пород; -контейнерная схема доставки пород; -использование транспортных средств с автономным питанием.	-экономия людских и финансовых ресурсов -минимальная энергоемкость -автоматизация процессов
Отвалообразование	Сокращение дальности транспортировки и последующая переработка вскрышных пород	Снижение потерь полезного ископаемого и экономия ресурсов
Переработка полезного ископаемого	-создание гибких технологических линий, ориентированных на выпуск большего количества видов продукции НСМ	Расширение номенклатуры продукции и увеличение рентабельности предприятия
Переработка техногенных образований	Комплексное использование различных видов природных ресурсов и техногенных образований (выработанное пространство, отвалы и шламохранилища)	Охрана окружающей среды и экономия ресурсов

Заключение. Реализация предлагаемых научно-прикладных решений по комплексному освоению малых месторождений нерудных строительных материалов несомненно внесет экономическую пользу за счет небольших капитальных вложений, короткого срока их окупаемости, минимальных затрат на создание инфраструктуры, а также применения простых организационно-технологических схем вскрытия и добычи.

Литература:

1. Расчёты экономической эффективности применения машин в строительстве / С. Е. Канторер и др.; под ред. проф. С. Е. Канторера. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 487 с.
2. Плютов Ю. А. Оценка эффективности эксплуатации погрузочно-транспортных комплексов открытых горных разработок. //Горное оборудование и электромеханика, № 1, 2008. С. 4-7.
3. Калдыбаев Н. А., Караева З. У., Ысманова М. Критерии и методы оптимизации разработки малых месторождений природного камня //Известия ОшТУ. – 2011, №2, -стр. 54-59.
4. Резниченко С. С. Математические методы и моделирование в горной промышленности: учеб. пособие / С. С. Резниченко, А. А. Ашихмин. – М.: Изд-во Московского горного ун-та, 2001. – 404 с.
5. Вербицкий Г. М. Основы оптимального использования машин в строительстве и горном деле. Учебное пособие. –Хабаровск, 2006. -105 с.
6. Калдыбаев Н. А. Моделирование технологии разработки малых месторождений нерудных строительных материалов //Известия Кыргызского государственного технического университета, №28, 2013. -с.186-191.
7. Калдыбаев Н. А. К формированию экономико-математической модели задачи оптимизации горных работ в малых карьерах//Наука. Образование. Техника. 2014, № 4. С. 78.
8. Калдыбаев Н. А. Модель задачи оптимизации использования горных машин в малых карьерах//Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2014, № 33. С. 269-272.