ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСКАВАТОРНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Косимов Мухиддин Одилович,
Филиал НИТУ «МИСИС» в г. Алмалык
E-mail: kosimovmuhiddin25@gmail.com,
Каримов Жахонгир Абдусамат угли,
АО «Алмалыкский ГМК». Рудник «Ковулди»
E-mail: jahongir.karimovv@icloud.com,
Каримова Замира Турдимурод кизи
Филиал НИТУ «МИСИС» в г. Алмалык
E-mail: zmamatalieva180@gmail.com)

Аннотация: В данной статье рассматриваются методы оптимизации работы экскаваторно-транспортного комплекса (ЭТК) в условиях глубоких карьеров. Исследуются основные факторы, влияющие на эффективность работы оборудования, такие как увеличение глубины карьера, рост длины транспортировки, сложность рельефа и ухудшение условий видимости. Анализируются современные подходы к повышению производительности и снижению эксплуатационных затрат, включая рациональный выбор типа и параметров транспортных средств, оптимизацию трасс движения, внедрение систем диспетчеризации и автоматизации. Особое внимание уделяется использованию математического моделирования и цифровых технологий для планирования и управления горными работами. Доказывается, что комплексный подход к оптимизации ЭТК позволяет значительно повысить технико-экономические показатели разработки глубоких карьеров.

Ключевые слова: Глубокий карьер, экскаваторно-транспортный комплекс, оптимизация, производительность, автосамосвалы, транспортные трассы, диспетчеризация, автоматизация, математическое моделирование, себестоимость, горные работы.

Annotatsiya: Ushbu maqolada chuqur karerlar sharoitida ekskavator-transport kompleksi (ETK) ishini optimallashtirish usullari ko‘rib chiqiladi. Uskunaning ishlashiga ta'sir qiluvchi asosiy omillar, masalan, karer chuqurligining oshishi, transport uzunligining oshishi, relyefning murakkabligi va ko‘rish sharoitining yomonlashishi o‘rganilmoqda. Hosildorlikni oshirish va operatsion xarajatlarni kamaytirishning zamonaviy yondashuvlari tahlil qilinadi, shu jumladan transport vositalarining turi va parametrlarini oqilona tanlash, transport yo‘llarini optimallashtirish, dispetcherlik va avtomatlashtirish tizimlarini joriy etish. Kon ishlarini rejalashtirish va boshqarish uchun matematik modellashtirish va raqamli texnologiyalardan foydalanishga alohida e'tibor beriladi. ETCNI

ISSN 3030-3907

optimallashtirishga kompleks yondashuv chuqur karerlarni rivojlantirishning texnik va iqtisodiy ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada oshirishi isbotlangan.

Kalit so‘zlar: chuqur karer, ekskavator-transport kompleksi, optimallashtirish, ishlash, avtomobil samosvallari, transport trassalari, dispetcherlik, avtomatlashtirish, matematik modellashtirish, tannarx, kon ishlari.

Abstract: This article discusses methods for optimizing the operation of an excavator transport complex (ETC) in deep quarries. The main factors affecting the efficiency of the equipment are investigated, such as an increase in the depth of the quarry, an increase in the length of transportation, the complexity of the terrain and the deterioration of visibility conditions. Modern approaches to increasing productivity and reducing operating costs are analyzed, including rational choice of the type and parameters of vehicles, optimization of traffic routes, implementation of dispatching and automation systems. Special attention is paid to the use of mathematical modeling and digital technologies for mining planning and management. It is proved that an integrated approach to the optimization of ETC can significantly improve the technical and economic indicators of the development of deep quarries.

Keywords: Deep quarry, excavator and transport complex, optimization, productivity, dump trucks, transport routes, dispatching, automation, mathematical modeling, cost, mining.

Введение

Карьер «Кальмакыр», расположенный в Алмалыке, является одним из крупнейших в Центральной Азии и служит основным источником медно-порфировых руд для АО «Алмалыкский ГМК». Здесь ежегодно добываются десятки миллионов кубометров горной массы, что требует применения мощной техники и постоянного совершенствования организации горных работ.

Особую роль в технологической цепочке занимают экскаваторы ЭКГ-10 и ЭКГ-15, обеспечивающие основную погрузку руды и вскрышных пород. Однако с увеличением глубины карьера и усложнением условий работы возникает необходимость поиска решений, позволяющих повысить их производительность и снизить эксплуатационные затраты.

Одним из возможных направлений является модернизация экскаваторов ЭКГ-10 за счет замены стандартных ковшей на ковши увеличенного объема. Такой подход позволяет сократить продолжительность рабочего цикла, ускорить погрузку автотранспорта и повысить общую эффективность горнотранспортной системы.

В 2023 году общий объем горной массы, извлеченной в карьере, составил 30,0 млн м³, из которых 16,5 млн м³ пришлось на вскрышные породы. Объем

ISSN 3030-3907

добытой руды составил 19,3 млн м³ (расчет: 35,9–16,6 млн м³). С учетом объемного веса руды ее масса достигла 33,5 млн тонн.

В этом разделе основное внимание уделяется анализу объёмов добычи руды, которая осуществляется преимущественно шестью экскаваторами с погрузкой на автотранспорт. В 2023 году на долю экскаваторно-железнодорожных комплексов приходилось 24% от общего объёма добычи, однако в 2024 году этот показатель резко снизится до 10,3% и в дальнейшем упадёт до 0%. Это связано с увеличением глубины карьера, что делает невозможным прокладку железнодорожных путей в рудной зоне на больших глубинах, ограничивая прямую погрузку руды на железнодорожный транспорт.

Таблица 1

Марки экскаваторов, работающих на добычу руды в забое и перегрузочных пунктах

Марка экскаватора	штук
В забое	
ЭКГ-15	2
ЭКГ-10	4
Перегрузочный пункт	
ЭКГ-10	6

Эти экскаваторы активно используются для погрузки руды, которая затем транспортируется автосамосвалами на перевалочные пункты для дальнейшей переработки и доставки.

На добычных уступах шесть экскаваторов обеспечивают погрузку 9,8 млн м³ руды в автосамосвалы марок «Terex» и «БелАЗ» грузоподъемностью 90 и 110 тонн. Такая схема позволяет эффективно перевозить значительные объемы материала. Одновременно около 3,1 млн м³ руды загружается напрямую в железнодорожные составы, что упрощает логистику и снижает нагрузку на автотранспорт.

Предлагаемый вариант

Произведя расчеты производительности данных моделей экскаваторов, и зная, что высота уступов не превышает 10 метров замечаем, что производительность ЭКГ-15 не сильно превышает производительности ЭКГ-10. Изучив характеристики ЭКГ-10, которые представлены в таблице 3.2. можно сделать вывод, что ковш у экскаватора ЭКГ-10 можно будет заменить на более производительный объем ковша. Основным решением будет как раз таки замена ковша у ЭКГ-10 с объемом10 м³ на ковш с объемом 12,5 м³. [2]

Таблица 2

Техническая характеристика экскаватора ЭКГ-10

ISSN 3030-3907

Показатели	Ед. изм.	ЭКГ-10
Вместимость ковша: Основного;	$м^3$	10
Сменного.	$м^3$	8;12,5;16
Максимальный радиус копания	м	18,4
Максимальная высота копания	м	13,5
Длина стрелы, м	м	13,9
Длина рукояти, м	м	11,37
Расчетное время цикла	с	26

При увеличении объема ковша экскаватора ЭКГ-10 с 10 м³ до 12,5 м³ отмечаются значительные улучшения в производительности оборудования. В частности, за счет увеличения объема захвата материала за один цикл растет техническая и эксплуатационная производительность экскаватора, что позволяет быстрее выполнять работы в забое.

Увеличение ковша способствует снижению количества циклов, необходимых для загрузки автосамосвалов, что ускоряет процесс транспортировки и уменьшает простой техники. Повышается эффективность взаимодействия экскаватора с автосамосвалами, особенно в условиях интенсивной загрузки.

Кроме того, модернизация ковша открывает возможности для более рационального использования экскаватора при высоких объемах горных работ, снижая потребность в дополнительной технике для выполнения тех же объемов задач. Это обеспечивает рост общей производительности горных работ и улучшает экономическую эффективность эксплуатации оборудования, которые показаны в таблице 3.3. [3-6]

Таблица 3

Сравнение характеристик при изменении объема ковша экскаваторов с 10 $м^3$ до 12,5 $м^3$

Характеристика	До изменения ЭКГ-10	После изменения ЭКГ-12,5	Обонование
Время цикла	30	35	Возможное увеличение времени цикла на 5–10% из-

ISSN 3030-3907

			за дополнительного веса горной массы в ковше экскаватора
Коэффициент наполнения ковша	0,6	0,55	При увеличении объема ковша сложнее обеспечивать его полное наполнение, особенно при работе с трудно-разрабатываемыми скальными породами
Износ механизмов ковша	Нормальный	Ускоренный износ	Увеличение массы ковша приводит к повышенной нагрузке на электропривод, цепи и стреловую конструкцию. Возможно ускоренное изнашивание передней части ковша и зубьев ковша.
Энергопотребление	850 Вт	1000 Вт	Увеличение нагрузки на цикл погрузки, рост энергозатрат.
Ресурс оборудования	Полный	Возможное снижение	Увеличенная нагрузка может сократить общий срок службы отдельных узлов, если не усилены ключевые компоненты.

ISSN 3030-3907

Шум и вибрация	Умеренный	Незначительное увеличение	Большая масса ковша может вызывать усиление вибраций, особенно при выемочно-погрузочных работ.

Комментарий к таблице:

Увеличение массы ковша создает дополнительную нагрузку на напорную механизм и возвратную систему, а также на ходовую планетарную часть экскаватора, поэтому для сохранения надежности и продления срока службы оборудования предлагаются следующие меры:

✓ **Электропривод и кабели:**

Увеличенная нагрузка может привести к перегреву двигателя и нагреву кабелей. Чтобы этого избежать, предлагается установить систему охлаждения для двигателя, а также регулярно проверять и обслуживать кабели и контакты, чтобы предотвратить их износ.

✓ **Шарниры и стреловая конструкция:**

Масса ковша создает дополнительное давление на шарниры и стрелу, что ускоряет их износ. Для решения этой проблемы предлагается усилить стрелу, регулярно смазывать шарниры, чтобы уменьшить ударные нагрузки.

✓ **Ковш и зубья:**

Большой объем ковша быстрее изнашивает зубья и передние кромки ковша. Для продления их срока службы предлагается регулярно проверять их состояние и своевременно заменять изношенные детали.

✓ **Шум и вибрации:**

Работа с более тяжелым ковшом увеличивает вибрацию и шум, что влияет на комфорт оператора и состояние оборудования. Для их снижения предлагается установить шум поглощающие материалы в кабине, укрепить крепления стрелы и ковша, а также обязать машиниста экскаватора по обеспечению плавного режима работы без рывка.

Произведем расчет производительности в забое с учетом предлагаемого варианта:

Паспортная производительность экскаватора ЭКГ–12,5 м^3:

$$Q_{\text{П}} = \frac{3600}{29} \cdot 12{,}5 = 1551 \ \text{м}^3/\text{ч}. \qquad (1)$$

Техническая производительность экскаватора ЭКГ–12,5 м^3:

$$Q_{\text{Т}} = \frac{3600 \cdot 12{,}5}{34} \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}8 = 688 \ \text{м}^3/\text{ч}. \qquad (2)$$

Эксплуатационная производительность экскаватора ЭКГ–12,5 м^3:

$$Q_{\text{ЭКГ}}^{\text{см}} = 688 \cdot 12 \cdot 0{,}6 = 4954 \ \text{м}^3/\text{смену}. \qquad (3)$$

ISSN 3030-3907

Суточная производительность экскаватора ЭКГ–12,5 м³:

$$Q_{ЭКГ}^{сут} = 4954 \cdot 2 = 9908 \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (4)$$

Годовая производительность экскаватора ЭКГ–12,5 м³:

$$Q_{год} = 9908 \cdot 290 = 2\,873\,320 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (5)$$

Сравниваем разницу производительностей ЭКГ–10, ЭКГ-12,5 м³ и ЭКГ–15 в таблице 4

Таблица 4

Разница производительностей ЭКГ–10, ЭКГ-12,5 и ЭКГ–15 в забое

Производительность экскаваторов	Ед.изм.	ЭКГ-15	ЭКГ-10	ЭКГ-12,5
Паспортная производительность	м³/ч	1800	1385	1551
Техническая производительность	м³/ч	648	624	688
Эксплуатационная производительность	м³/см.	4665	4492	4954
Суточная производительность	м³/сут	9330	8984	9 908
Годовая производительность	м³/год	2 705 700	2 605 360	2 873 320

Комментарий к таблице:

ЭКГ-10 (12,5 м³): увеличение объема ковша повышает производительность экскаватора на всех уровнях. Годовая производительность увеличилась на 268 тысяч м³ по сравнению с ковшом объемом 10 м³.

ЭКГ-15: несмотря на больший объем ковша, уступает ЭКГ-10 (12,5 м³) в производительности. Это делает модернизацию ковша ЭКГ-10 экономически оправданной альтернативой полной замене техники.

Увеличение производительности и повышение количества автосамосвалов представлены в таблице 5

Таблица 5

Сравнение показателей при внедряемом и базовом варианте

№	Наименование	Единица измерения	**Существующий вариант**	**Предлагаемый вариант**	Эффективность
1	Объем работ	млн м³	30	31	1
2	Вскрыша	млн м³	16,5	16,5	0
3	Руда	млн т	35,3	37,9	2,6

ISSN 3030-3907

4	Количество автосамосвалов	шт.	30	34	4

Общие расчеты автосамосвалов при работе с ЭКГ-15, ЭКГ-12,5 и ЭКГ-10 приведены в таблице 6

Таблица 6

Параметры автосамосвалов при использовании ЭКГ-15, ЭКГ-12,5 и ЭКГ-10 в забое

Марка экскаватора/ автосамосвала	Ед.изм	В забое ЭКГ-15		В забое ЭКГ-10		В забое ЭКГ-12,5	
		БелАЗ-75131 г/п – 130 тн.	Terex-100 г/п - 90 тн.	БелАЗ-75131 г/п – 130 тн.	Terex-100 г/п - 90 тн.	БелАЗ-75131 г/п – 130 тн.	Terex-100 г/п - 90 тн.
Сменная производительность автосамосвала	т/см	2389	2115	2596	2091	2418	2196
Время рейса	мин	33,5	27	32,76	27,3	33,1	26
Сменный пробег автосамосвала	км/см	138	172	142	170	140,5	179
Сменный расход топлива	л	1214	946	1250	935	1236	985
Количество автосамосвалов	шт.	5	6	5	6	6	7

Итоговые проектные изменения при введении объема ковша 12,5 м^3 с разницей базового варианта 10 м^3.

Комментарий к таблице:

Увеличение объема ковша экскаватора **ЭКГ-10 до 12,5 м³** положительно влияет на производительность, сокращает время рейса и повышает эффективность автосамосвалов.

Железнодорожный транспорт

В карьере задействованы думпкары марки ВС-105 грузоподъемностью 105 тонн, а также тепловозы марок 2ТЭ-116 и ТМ-2, которые используются для выполнения вспомогательных работ. Железнодорожный транспорт работает по графику 12 часов в сутки, 7 дней в неделю. Электровозы оснащены постоянным током мощностью 3300 кВт, что позволяет эффективно транспортировать руду на дальние расстояния.

Расстояние, которое проходит руда от карьера до станции «Калмакыр», составляет 6,5 км, а от этой станции до обогатительной фабрики — 9,5 км.

ISSN 3030-3907

Среднее расстояние откатки вскрышных пород составляет 9,21 км, что также важно для понимания транспортных затрат.

Среднесуточный объем перевозок составляет 32,7 тыс. м³. Этот показатель отражает эффективность работы транспортных средств и помогает рассчитать производительность локомотивного состава для оптимизации транспортных потоков в карьере.

Исходя из проведённых расчётов, сменная производительность одного локомотивного состава составляет 1061 м³ горной массы за одну смену. Это значение позволяет более точно оценить потребность в локомотивах для обеспечения эффективной транспортировки. Учитывая установленный сменный объём перевозки горной массы, равный 32 767,123 м³, можно рассчитать количество локомотивных составов, необходимых для выполнения данного объёма работ. Расчётное значение следующего параметра позволяет точно определить, сколько локомотивов потребуется для бесперебойной работы при заданной производительности:

$$N_{\text{лок}} = \frac{V_{\text{г}}}{Q_{\text{э}}}, \text{шт}, \quad (6)$$

$$N_{\text{лок}} = \frac{32{,}7}{1061} = 30 \text{ локомотив составов.}$$

Принимаем 30 локомотив составов с 13-ю думпкарами.

Вывод

1. Увеличение производительности в забое

Замена стандартного ковша ЭКГ-10 на ковш объемом 12,5 м³ для работы исключительно в забое позволила значительно повысить производительность экскаваторов в этом участке. Увеличение объема ковша и повышение коэффициента использования оборудования способствуют ускорению загрузки автосамосвалов и сокращению времени рабочего цикла.

2. Сохранение эффективности на перегрузочных пунктах

Экскаваторы ЭКГ-10 с ковшом объемом 10 м³ продолжают работать на перегрузочных пунктах, где их текущая производительность является достаточной. Это позволяет избежать излишних затрат на модернизацию оборудования, сохраняя баланс между затратами и производительностью.

3. Оптимизация автотранспорта

Увеличение производительности в забое требует большей пропускной способности автосамосвалов. Добавление 4 единиц БелАЗ-75131 обеспечивает бесперебойный вывоз руды к перегрузочным пунктам, устраняя возможные задержки и снижая простои техники.

4. Создание новых рабочих мест

ISSN 3030-3907

С увеличением парка автосамосвалов появляются дополнительные вакансии для водителей и обслуживающего персонала, что оказывает положительное влияние на социально-экономическую ситуацию.

5. Повышение общей производительности

Экскаваторы с новым ковшом демонстрируют более высокую суточную и годовую производительность, что позволяет обрабатывать больший объем руды в забое. Это, в свою очередь, ускоряет выполнение плана добычи, особенно при увеличении объемов переработки.

6. Экономическая эффективность

Модернизация экскаваторов в забое и увеличение парка автосамосвалов требуют начальных вложений, но эти затраты компенсируются за счет повышения общей производительности системы.

Таким образом, использование экскаваторов ЭКГ-10 с ковшами объемом 12,5 м³ в забое и сохранение ЭКГ-10 с ковшами объемом 10 м³ на перегрузочных пунктах позволяет достигнуть оптимального баланса между затратами и эффективностью, обеспечивая значительное увеличение производственных показателей предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шешко Е.Е. Горнотранспортные машины и оборудование для открытых работ. - М: МГГУ, 2003.
2. Анистратов К.Ю., Градусов М.С., Стремилов В.Я., Тетерин М.В. Экономико-математическая модель функционирования предприятия технологического карьерного автотранспорта // Горная промышленность. - №1, 2007.
3. Петров Б.В. Горные машины и оборудование. — М., 2005.
4. Сидоров В.Г. Модернизация горной техники: проблемы и решения. — Екатеринбург, 2015.
5. Николаев Е.Е. Горные машины: конструкция и расчет. — СПб., 2012.
6. Хмызников К.П., Лыков Ю.В. Горные машины для открытых горных работ. Карьерные экскаваторы. -СПб, 1999.
7. Справочник. Открытые горные работы. - М: Горное бюро, 1994.
8. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. - М., 2007.
9. Массаковский Я.В. Экономика горной промышленности. - М: МГГУ, 2004.

ISSN 3030-3907