

Рекомендации по эксплуатации и улучшению качества содержания карьерных автодорог Олимпиадинского и Благодатного горно-обогатительных комбинатов

А.Г. Журавлев¹, В.А. Черепанов¹✉, В.А. Карпов², А.Ю. Небезин²

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация

² АО «Полюс Красноярск», г. Красноярск, Российская Федерация

✉ transport@igduran.ru

Резюме: Планомерное наращивание объемов горной массы, добываемой на карьерах Олимпиадинского и Благодатного ГОКов, существенно повышает требования к ритмичности функционирования карьерного технологического автотранспорта и оптимизации себестоимости перевозок в связи с постоянным значительным увеличением годовой производительности и увеличением среднего расстояния транспортирования. Наряду с существенной проектной глубиной (765 м для карьера «Восточный» Олимпиадинского ГОКа) отработка ведется в несколько этапов, каждый из которых характеризуется достаточно узкой кольцеобразной рабочей зоной высотой в несколько уступов. Это создает высокую концентрацию горных работ и усложняет организацию работы всех видов оборудования, в том числе технологического транспорта, для которого в проекте обоснован уклон карьерных автодорог до 100%, обеспечивающий снижение разноса бортов и сокращение объемов вскрыши. Перечисленные выше особенности создают специфические условия для организации работ по содержанию дорожного фонда и требуют обоснования мероприятий по их совершенствованию, что является одним из путей снижения себестоимости перемещения горной массы (с учетом всестороннего анализа сложившихся условий и обобщения результатов опытных работ). По результатам проведенных замеров и наблюдений за состоянием дорог в течение четырех основных сезонов года был проведен анализ фактического состояния дорог ОГОК и БГОК и предложены мероприятия по их улучшению. На основании проведенного анализа особенностей формирования и эксплуатации дорожного фонда на карьерах Олимпиадинского и Благодатного ГОКов в статье систематизированы рекомендации по улучшению строительства и обслуживания дорог. Описан методический подход к оптимизации конструкции (толщины) дорожных одежд. Определен экономический эффект от улучшения состояния автодорог в соответствии с возросшим грузооборотом.

Ключевые слова: глубокий карьер, карьерные автодороги, карьерные автосамосвалы, фактическое состояние дорожных одежд

Для цитирования: Журавлев А.Г., Черепанов В.А., Карпов В.А., Небезин А.Ю. Рекомендации по эксплуатации и улучшению качества содержания карьерных автодорог Олимпиадинского и Благодатного горно-обогатительных комбинатов. *Горная промышленность*. 2023;(5):88–95. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-88-95>

Recommendations on operation and improvement in the quality of in-pit road maintenance at the Olympiadinsky and Blagodatny mining and processing plants

A.G. Zhuravlev¹, V.A. Cherepanov¹✉, V.A. Karpov², A.Yu. Nevezhin¹

¹ Institute of Mining of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

² JSC Polyus Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Russian Federation

✉ transport@igduran.ru

Abstract: A systematic increase in the volume of the rock mass extracted at the pits of the Olympiadinsky and Blagodatny ore mining and processing plants significantly raises the requirements for the smooth operation of the mining vehicles and optimization of the transportation cost due to a steady and significant increase in annual production and the average haulage distances. Along with a significant design depth (765 m for the Vostochny quarry, the Olympiadinsky ore mining and processing plant), mining is carried out within a rather narrow ring-shaped working area, which leads to high concentration of mining activities and makes it difficult to manage the operation of all types of equipment, including the process vehicles, for which the project justifies the slope angle of the pit roads to be up to 100%, which would ensure the reduction of pit wall spreading and the decrease in the stripping volumes. The above features create specific conditions for road maintenance and require justification of measures to enhance these activities, which is one of the ways to reduce the cost of the rock mass haulage (with account of a comprehensive analysis of the current conditions and generalization of the experimental work results). Based on the results of measurements and observations of the road condition during the year, an analysis of the actual condition of the roads at the Olympiadinsky and Blagodatny ore mining and processing plants was carried out and measures to improve them were proposed.

Based on the analysis of the specific features in formation and operation of the roads at the quarries of the Olympiadinsky and Blagodatny ore mining and processing plants, the article systematizes the recommendations on the in-pit road construction and maintenance. The article describes a methodology of optimizing the design (thickness) of the road topping. The economic effect of improving the condition of the in-pit roads in accordance with the increased haulage volumes has been determined.

Keywords: deep quarry, in-pit roads, mining dump trucks, the actual condition of the road topping

For citation: Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A., Karpov V.A., Nevezhin A.Yu. Recommendations on operation and improvement in the quality of in-pit road maintenance at the Olympiadinsky and Blagodatny mining and processing plants. *Russian Mining Industry*. 2023;(5):88–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5-88-95>

Введение

Олимпиадинский ГОК (ОГОК) является крупнейшим золоторудным предприятием АО «Полюс Красноярск». На трех фабриках перерабатывается руда в объеме 14 млн т в год. В 25 км от ОГОК располагается Благодатный ГОК (БГОК) – третий по объему производства актив компании¹. Добыча золота осуществляется по классической технологии: взрывная подготовка к выемке, погрузка экскаваторами с вместимостью ковша 10–35 м³, транспортирование карьерными автосамосвалами. Руда проходит предварительное усреднение на складах и подается для переработки на золотоизвлекательные фабрики. В стадии строительства на данный момент находится ЗИФ-5 (БГОК) с проектной производительностью 8 млн т в год². Оба месторождения разрабатываются по углубочной системе, развитие карьеров осуществляется очередями [1]. Наряду с существенной проектной глубиной (765 м для карьера «Восточный» ОГОК – рис. 1; 470 м для южной залежи карьера БГОК – рис. 2) отработка ведется достаточно узкой кольцеобразной рабочей зоной шириной 100–210 м высотой 4–6 уступов, что создает высокую концентрацию горных работ и усложняет организацию работы всех видов оборудования, в том числе технологического транспорта. Карьеры вскрываются системой из двух капитальных съездов, смыкающихся в средней их части в единственный съезд. Для карьерных автосамосвалов в проекте обоснован руководящий уклон карьерных и отвалных автодорог 100‰, обеспечивающий снижение разноса бортов и сокращение объемов вскрыши.

Несмотря на значительный объем добычи, предусмотрено планомерное его наращивание в связи с развитием производственных мощностей. За последние 12 лет осуществлен поэтапный переход на автосамосвалы особо большой грузоподъемности с целью снижения себестоимости транспортирования горной массы и одновременно повышения производительности (рис. 3). На начало работ по расширению III очереди карьера «Восточный» ОГОК в 2005 г. списочный парк карьерных автосамосвалов грузоподъемностью ~90 т составлял 62 ед. [1], а на начало 2022 г. (активная фаза IV очереди) основной парк Олимпиадинского и Благодатного ГОКов составлял порядка 170 ед. самосвалов грузоподъемностью 136 т и 220–223 т.

Все это создает комплекс противоречий: с одной стороны – существенно повышает требования к ритмичности функционирования карьерного технологического автотранспорта и оптимизации себестоимости перевозок, с другой – обуславливает высокую грузонапряженность автодорог, значительные как вертикальные, так и тангенциальные нагрузки на их поверхностный слой, высокие потребные темпы их строительства и сжатые допустимые

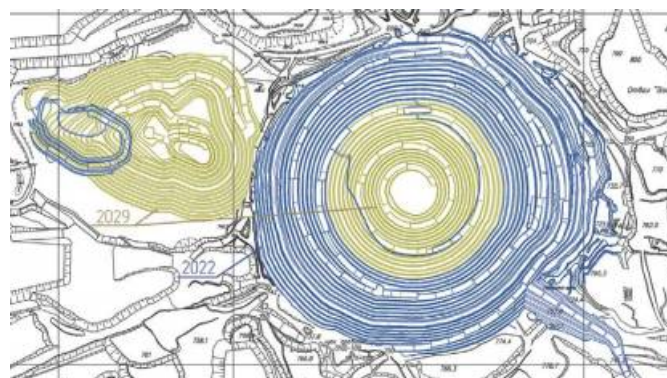


Рис. 1
Текущий и проектный контуры карьера «Восточный» (подписаны годы)

Fig. 1
The current and design outlines of the Vostochny quarry (years indicated)



Рис. 2
Текущий и проектный контуры южного участка карьера «Благодатный» (подписаны годы)

Fig. 2
The current and design outlines of the southern section of the Blagodatny quarry (years indicated)

временные отрезки на их обслуживание. Следствием является высокий износ автодорог на ОГОК и БГОК и не соответствующее вышеуказанным требованиям их состояние.

Перечисленные выше особенности разработки месторождений создают специфические условия для организации работ по содержанию дорожного фонда и требуют обоснования мероприятий по совершенствованию основных технологических карьерных дорог. Общая протяжен-

¹ «Годовые отчеты ПАО «Полюс». Режим доступа: <https://polyus.com/ru/investors/disclosure/annual-reports/>

² «Годовые отчеты ПАО «Полюс». Режим доступа: <https://polyus.com/ru/investors/disclosure/annual-reports/>



Рис. 3
Динамика наращивания парка технологического автотранспорта в сопоставлении с объемами добычи на Олимпиадинском и Благодатном ГОКах

Fig. 3
Dynamics of increasing the process fleet with the production volumes at the Olimpiadinsky and Blagodatny ore mining and processing plants

ность автодорог ОГОК и БГОК составляет значительную величину: 145 км для карьера «Восточный» Олимпиадинского ГОКа и 83 км для карьера Благодатного ГОКа (рис. 4). Примечательно, что существенную долю составляют автодороги, не относящиеся к карьерным и отвальным (дороги хвостохранилища, вспомогательного транспорта, инфраструктуры ГОКа): 39% на ОГОКе и 38% на БГОКе. Это предопределяет необходимость дифференциации технологий обслуживания и ремонта автодорог.

Практический опыт ИГД УрО РАН показывает, что при соблюдении конструктивных параметров и технологии строительства работоспособность карьерных автодорог может быть повышена в 4–5 раз и во столько же раз снижены затраты на их содержание и ремонт [2]. С другой стороны, улучшение качества автодорог ведет к повышению среднетехнической скорости карьерных автосамосвалов, снижению коэффициента сопротивления движению [3], и таким образом, снижается расход топлива на каждую перевезенную тонну [4], а кроме того, повышается производительность карьерных самосвалов, что в целом ведет к уменьшению затрат [5–7].

Таким образом, поставлена задача разработки мероприятий по улучшению состояния технологических автодорог Олимпиадинского и Благодатного ГОКов, обеспечивающих их достаточный ресурс и работоспособность в условиях особо высокой грузонапряженности, а также невозможности закрытия основных участков карьерных автодорог на длительный период для ремонтно-восстановительных работ.

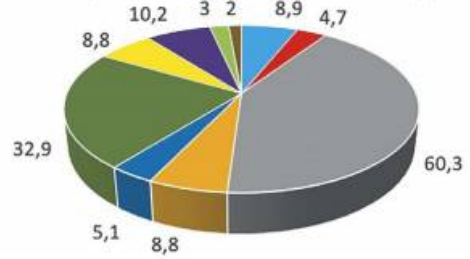
Методы исследований

Для поиска рациональных параметров дорожных условий выполнена оценка состояния технологических автодорог ОГОК и БГОК. Использовались натурные замеры, хронометраж, анализ показателей системы диспетчеризации. Замеры ровности и геометрических параметров автодорог производились дорожной 3-метровой рейкой КП-231С, курвиметром дорожным, рулеткой.

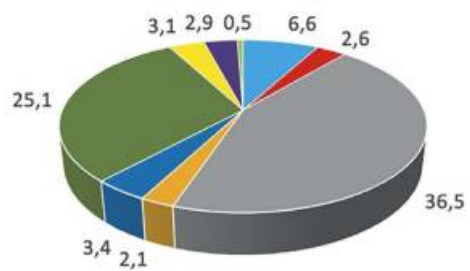
Опытные работы по определению фактического состояния дорог Олимпиадинского и Благодатного ГОКов проводились в течение 2022 г. в основные периоды (весна, зима, осень, лето) и включали в себя:

1. Визуальный осмотр карьерных, отвальных и межплощадочных дорог с целью определения нескольких характерных участков для инструментальных замеров их ровности и фактических параметров: ширины, продольного и поперечного уклонов с последующим их сравнением с данными проектов.
2. Инструментальные замеры геометрических параметров автодорог дорожной рейкой КП-231С, дорожным курвиметром (рулеткой, линейкой по необходимости измерения локальных размеров негабаритного щебня, неровностей и др.).
3. Замер параметров движения карьерных автосамосвалов – выполнялся с помощью устанавливаемых на автосамосвалах контроллеров, обеспечивающих сбор данных со штатных датчиков автосамосвала и их запись в память. Контролировались: скорость движения, нагрузка на ДВС, уклон автодороги, расход топлива, видеоизображение автодороги, координаты глобальной навигационной системы.

ОГОК. Карьеры "Восточный" и "Западный"



БГОК. Карьер "Благодатный"



- Внутрикарьерные постоянные (БГТ)
- Отвальные (БГТ)
- На стоянках, рем.площадках (БГТ)
- Вспомогательного транспорта
- Вспомогательные (водоотлив)
- Внутрикарьерные временные (БГТ)
- На усреднительных складах (БГТ)
- На хвостохранилище
- Вспомогательные энергохозяйства
- Вспомогательные (склад ВМ)

БГТ – большегрузный транспорт; ВМ – взрывчатые материалы

Рис. 4. Структура фонда технологических автодорог (протяженность в км)

Fig. 4. Structure of the process road stock (length in km)

Результаты исследований

По результатам натурных измерений и наблюдений установлено, что причинами деформаций и разрушений проезжей части технологических автодорог являются прежде всего: а) недостаточная прочность дорожных одежд, конструкция которых не учитывает специфические природно-климатические и технологические условия работы дорог, которые стали критически проявляться в условиях значительно увеличившегося грузопотока, и физико-механические свойства местных материалов, из которых отсыпаются дороги; б) упрощенная технология строитель-

ства и ремонта автодорог, определяемая, с одной стороны, проектными решениями, определявшимися ранее на меньший грузооборот, с другой – сложностью выполнения полномасштабного ремонта в условиях постоянного высокого грузооборота. С учетом сложного комплекса технологических, сезонно-климатических и горно-геологических факторов, подробно рассмотренных в [8] и определяющих дорожные условия Олимпиадинского и Благодатного ГОКов, предложены мероприятия по улучшению состояния автодорог (табл. 1). В целом установлено, что в условиях

ОГОК и БГОК ухудшение дорожных условий приводит к снижению скорости движения карьерных автосамосвалов в среднем на 3–8 км/ч и соответствующему падению их производительности. Это влечет дополнительные расходы как на наращивание парка автосамосвалов, так и на их содержание в условиях движения по ухудшенным дорогам.

С целью поиска рационального варианта обеспечения приемлемых дорожных условий Олимпиадинского и Благодатного ГОКов выполнены исследования по поиску рациональной схемы оптимизации параметров конструкции

Таблица 1
Мероприятия по улучшению дорожных условий Олимпиадинского и Благодатного ГОКов

Table 1
Measures to improve the road conditions at the Olympiadinsky and Blagodatny ore mining and processing plants

Элементы дорог	Фактическое состояние	Причины	Негативные последствия	Мероприятия по улучшению
Временные автодороги в рабочей зоне карьера	Отсутствие подсыпки временных технологических автодорог/ проездов в рабочей зоне карьера щебнем (за исключением отдельных участков), значительные неровности	Недостаточные мощности по выпуску щебня, в т.ч. нужных пропорций по фракционному составу	Снижение скорости движения карьерных автосамосвалов, повышенный износ шин, повышенный расход топлива	Обеспечить формирование улучшенных параметров поверхности временных автодорог и проездов: – оперативное выравнивание бульдозерами поверхности проездов после взрывных работ с подсыпкой при необходимости неровностей мелкофракционной выборкой горной массы из забоев; – подсыпку поверх выравнивающего слоя щебнем смешанной фракции 20–70 мм толщиной 15–20 см временных проездов
Временные автодороги на поверхности отвалов	Отсутствие подсыпки щебнем временных технологических автодорог/ проездов, значительные неровности	Недостаточные мощности по выпуску щебня, в т.ч. нужных пропорций по фракционному составу		Обеспечить формирование улучшенных параметров поверхности временных автодорог и проездов: – подсыпку поверх выровненной поверхности проездов слоя щебня смешанной фракции 20–70 мм толщиной 10–20 см
Конструкция дорожных одежд	Не соответствует увеличившемуся грузопотоку и нагрузкам	Недостаточные мощности по выпуску щебня, в т.ч. нужных пропорций по фракционному составу	Быстрый износ дорожных одежд. В конечном итоге – снижение скорости технологического автотранспорта	1) Переход на рекомендуемую конструкцию дорог*. 2) Внедрение рекомендуемой технологии строительства автодорог с послойным уплотнением дорожных одежд*. 3) Применение нормированного фракционного состава щебня в необходимых объемах. 4) Контроль прочности пород, используемых для изготовления щебня (предпочтительно 60–80 МПа, не допускается ниже 40 МПа)
Поперечный уклон дороги	Не на всех участках автодорог выдерживается	Не предусмотрено периодическое восстановление поперечного профиля	1) Повышенная обводненность дорожного полотна. 2) Повышенный износ дорожных одежд. 3) Появление колеи, выбоин. 4) Снижение скорости карьерных автосамосвалов, повышение расхода топлива	Предусмотреть в составе работ по текущему содержанию автодорог восстановление поперечного уклона: проезжей части – 30–35%, обочин (при укреплении их щебнем) – не менее 40% (согласно СП 37.13330)
Водоотводные канавы	Не всегда своевременно выполняется очистка	Недостаточное количество экскаваторов для периода интенсивных дорожных работ в весеннее межсезонье		1) Своевременная очистка водоотводных канав. 2) Доведение парка экскаваторов для дорожных работ до рекомендуемого*
Щебень	Применение лещадного щебня для строительства автодорог	Характеристики ДСК. Вынужденное повышение производительности ДСК в ущерб качеству щебня	Недостаточная прочность верхнего слоя в объеме, повышенный его износ, колееобразование, выбоины. Как следствие – снижение скорости автотранспорта	1) Настройка оборудования ДСК для снижения лещадности. 2) Внедрение конусных дробилок в ДСК для производства кубовидного щебня

Элементы дорог	Фактическое состояние	Причины	Негативные последствия	Мероприятия по улучшению
Верхний слой дорожных одежд (покрытие)	Применение крупнофракционного щебня для верхнего слоя (фактический размер составляет 70–100 и до 120 мм)	Недостаточная производительность дробильно-сортировочных комплексов (ДСК)	1) Повышенный износ шин карьерных автосамосвалов при первичной укатке щебня. 2) Недостаточная прочность верхнего слоя в объеме, повышенный его износ, колееобразование, выбоины. 3) Снижение эффективности грейдерования из-за невозможности срезать «тонкий» слой	1) Нарращивание дробильно-сортировочных мощностей в соответствии с рекомендуемыми объемами выпуска. 2) Обеспечение ДСК достаточным запасом основных запчастей для оперативного ремонта, замены быстроизнашиваемых частей, отсутствия необходимости их экономии в ущерб качеству щебня.
	Применение мелкофракционной выборки из забоев для отсыпки верхнего слоя автодорог (особенно остро проявляется на БГОК)	Недостаточный объем производства щебня		1) Нарращивание объемов выпуска щебня*. 2) Исключать для подсыпки дорог малопрочные сланцы из забоя, исключать крупную фракцию >100 мм. 3) Подсыпку производить по возможности щебнем с ДСК, горную массу из забоя использовать только для призабойных дорог
	Отсутствие специальной расклинки мелкофракционным щебнем, что не обеспечивает условий защиты от повышенного износа	Отсутствие в достаточном объеме щебня фракции 20–40 мм и щебня-клинца 0–20 мм		Внедрение рекомендованной в настоящем отчете технологии строительства автодорог с послойной укаткой и расклинкой верхнего слоя
	Нет системы регулярного обновления верхнего слоя дорожных одежд (слоя износа) в условиях интенсивного износа	Данное мероприятие не указано отдельно в нормативных документах и не дана методика расчета износа		Внедрение системы регулярного обновления верхнего слоя дорожных одежд согласно скорости его износа, а также с учетом его «вырезки» при выравнивании грейдерами (на основе регулярного визуального мониторинга)
Дорожное полотно	Просыпи из кузовов автосамосвалов	Короткий задний свес кузова некоторых модификаций карьерных автосамосвалов	Просыпи из кузовов автосамосвалов Короткий задний свес кузова некоторых модификаций карьерных автосамосвалов	Короткий задний свес кузова некоторых модификаций карьерных автосамосвалов
Обслуживание дорог	Недостаточно дорожно-строительной техники для высококачественного обслуживания всего фонда автодорог	1) Недостаточный парк ДСТ. 2) Недостаточное количество мощной высокопроизводительной ДСТ в структуре парка	1) Несвоевременная уборка просыпей на автодорогах. 2) Редкое выравнивание. 3) Все это ведет к снижению скорости автотранспорта	1) Выделять ДСТ для обслуживания автодорог большегрузного транспорта приоритетно без отвлечения на другие работы. 2) Довести парк ДСТ до расчетных значений*, поддерживать их в высокой технической готовности
Противогололедная обработка поверхности дорог щебнем	Применение для противогололедной обработки автодорог щебня из штабелей, насыпаемых в центре проезжей части, с фактическим размером фракции 70–100 (до 120) мм. Эти работы выполняются грейдерами при патрульной обработке дорог	Недостаточная мощность ДСК по выпуску противогололедного щебня фракции 20–40 мм. Более длительный «срок службы» крупного щебня до «закатывания» его в снег, возможность «поднять» крупный щебень грейдерованием	1) Заужение проезжей части карьерных автодорог насыпными штабелями, что затрудняет разезд автосамосвалов при выполнении дорожных и иных работ. 2) Повышенный износ шин автосамосвалов	1) Переход на применение противогололедного щебня фракции 20–40 мм (или 0–40 мм). 2) Для этого необходимо увеличение производственной мощности ДСК. 3) Отказ от резервирования противогололедного щебня на автодорогах. Доставка и нанесение его щебнеразбрасывателями. Для этого необходимо обновление и увеличение их количества*
	Ограниченная производительность по обработке автодорог мелкофракционным щебнем	Недостаточное количество щебнеразбрасывателей (ЩР). Часть из имеющихся ЩР изношены	1) Вынужденное применение резервирования противогололедного щебня на проезжей части автодорог. 2) Часть изношенных ЩР не обеспечивает по тяге работу при движении в потоке самосвалов на подъеме, снижая скорость большегрузных самосвалов	1) Увеличение количества щебнеразбрасывателей до расчетного*. 2) Переход на применение более крупных щебнеразбрасывателей с бункером 28–30 или 43–45 м³

Элементы дорог	Фактическое состояние	Причины	Негативные последствия	Мероприятия по улучшению
Противопылевая обработка автодорог	Недостаточная противопылевая обработка в солнечные сухие дни летом	Недостаточный парк поливомоечных машин (ПМ) для борьбы с пылением дорог	1) Значительное пыление автодорог в летний период 2) Снижение скорости карьерного автотранспорта на участках интенсивного пыления. 3) Повышенный износ фильтров и открытых трущихся узлов автосамосвалов в условиях пыли	1) Увеличение количества поливомоечных машин до расчетного* 2) Переход на применение более крупных ПМ с цистерной 42–45 или 62–65 м ³ 3) Предусматривать при переоборудовании б/у самосвалов в ПМ достаточную мощность водоподающих насосов для разбрызгивания воды по поверхности дороги

* В 2021–2022 гг. ИГД УрО РАН для АО «Полюс Красноярск» выполнена работа «Обоснование рациональных дорожных условий при эксплуатации карьерных большегрузных автосамосвалов на карьерах Олимпиадинского ГОКа, расчет необходимой инфраструктуры для обеспечения оптимальных дорожных условий на основных и вспомогательных технологических дорогах», в которой проведена оценка дорожных условий Олимпиадинского и Благодатного ГОКов [9], обоснованы рациональные дорожные условия при эксплуатации карьерных большегрузных автосамосвалов; подготовлены рекомендации по содержанию и совершенствованию дорожных условий основных технологических дорог; определен парк вспомогательного оборудования для обслуживания технологических дорог; предложена рекомендуемая конструкция дорожных одежд и технология строительства автодорог с послойным уплотнением; рекомендовано наращивание объемов выпуска щебня.

дорожных одежд, которая обеспечивала бы приемлемые расходы на их строительство и в то же время повышение технико-экономических показателей технологического автотранспорта. За базу приняты закономерности воздействия автосамосвалов на дорожное полотно и их износ, основополагающие принципы выбора конструкции дорожных одежд карьерных автодорог³ [9], основанные в том числе на исследованиях ИГД УрО РАН, а также современные методики расчета прочности дорожных одежд и свод правил (СП37.13330).

Для карьерных дорог толщина дорожных одежд на скальном основании с высоким модулем упругости выбирается с учетом только выравнивающей функции, связности дорожной одежды, распределения давления по площади, а также конструктивной выполнимости и соответствует 0,5–0,65 м. Для слабых оснований очень важной функцией дорожных одежд является обеспечение прочности дорожной одежды как единой конструкции, распределяющей нагрузки от автосамосвалов по значительной площади основания, предотвращая деформацию дороги; поэтому толщина под карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 130–220 т составляет 1,75–2,5 м.

Обобщение данных расчетов позволило установить закономерности изменения толщины дорожных одежд от грузооборота (рис. 5). Видно, что они различаются по характеру для дорог на скальном основании (как правило, внутрикарьерных) и слабом основании (чаще поверхностных). Толщина дорог на слабом основании близка к логарифмической зависимости и имеет участок интенсивного убывания толщины при грузообороте менее 30–50 млн т/год, приближаясь к минимальной толщине, принимаемой для дорог на скальном основании. Для скального же основания зависимость толщины близка к линейной.

В практическом плане эти графики могут использоваться для предварительного определения толщины дорожных одежд. Далее выполняется проверочный расчет в соответствии с утвержденной нормативно методикой в СП 37.13330 на их прочность и долговечность по показателям требуемого коэффициента прочности и предельного коэффициента разрушения, при этом коэффициент прочности вновь проектируемой конструкции должен быть

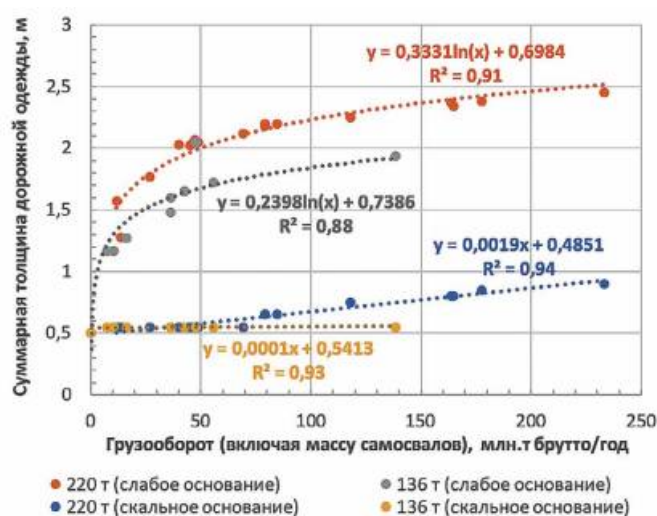


Рис. 5 График для предварительного (ориентировочного) определения толщины дорожной одежды новых участков дорог в зависимости от грузооборота (брутто), основания дорожного полотна и грузоподъемности карьерных автосамосвалов

Fig. 5 A diagram for preliminary (tentative) determination of the road topping thickness for the new road sections depending on haulage volumes (gross weight), the lower road structure and load capacity of the dump trucks

таким, чтобы в заданный межремонтный период не наступил отказ по прочности с вероятностью более заданной. Уточненная таким образом толщина оптимизируется по технико-экономическим показателям исходя из следующих соображений:

- срок службы дорожных одежд не должен превышать срок существования дороги (это дает особо хорошие результаты экономии для временных автодорог, дорог с коротким сроком службы, дорог с малым грузооборотом);
- срок службы дорожной одежды и периодичность ее ремонта существенно зависит от толщины и используемых материалов (как правило, они снижаются при удешевлении);
- объем и периодичность ремонта автодорог влияет на парк необходимой дорожно-строительной техники, эксплуатационные расходы на данный вид работ;
- ухудшенное состояние автодорог вызывает снижение

³ Требования для типового проектирования технологических автодорог карьеров с применением местных строительных материалов для проектных институтов и горнодобывающих предприятий. Свердловск: ИГД МЧМ СССР; 1990. 129 с.; Инструкция по расчету дорожных одежд нежесткого типа для карьерных дорог под автосамосвалы грузоподъемностью 27–180 т. М.; 1988. 56 с.

среднетехнической скорости технологического автотранспорта, влечет повышение расходов на эксплуатационные материалы, увеличивает расходы на техническое обслуживание и ремонт автотранспорта.

Учитывая, что все вышеуказанные расчеты как по прочности, так и по экономическим показателям являются по сути проверочными, они выполняются методом перебора: задается ряд вариантов толщин и свойств дорожных материалов и рассчитываются показатели долговечности и суммарных затрат на строительство и содержание автодороги.

Такие расчеты могут выполняться как при проектировании новых автодорог, так и при выборе стратегии поддержания имеющихся автодорог в случае технического перевооружения или реконструкции карьера.

Расчеты показывают (рис. 6), что при увеличении грузооборота на 20% и более относительно проектного значения дополнительные вложения в реконструкцию и более качественное содержание автодорог в большинстве случаев превосходят потенциальные убытки от их деградации к неудовлетворительному состоянию при сохранении прежних темпов содержания автодорог, рассчитанных на меньший грузооборот. И чем выше грузооборот, тем выше этот эффект. Для таких автодорог экономически и технологически целесообразно обеспечивать высокие расчетные конструктивные параметры дорожных одежд, рекомендованные в своде правил СП 37.13330 (приложение К). В среднем расчетная экономия от мероприятий по совершенствованию автодорог составляет 0,6–0,65 руб./ткм. Исключение составляют автодороги с относительно невысоким грузооборотом – менее 5–6 млн т нетто/год. Для них рационально с использованием вышеприведенного методического подхода выполнять нисходящую оптимизацию с поиском такой конструкции (толщины) дорожных одежд, которая, при безусловном обеспечении промышленной безопасности и безопасности дорожного движения благодаря относительно невысоким расходам на строительство и содержание, обеспечивает приемлемое падение технико-экономических показателей технологического карьерного автотранспорта, сохраняя положительный экономический баланс в разрезе «экономия – потенциальные убытки».

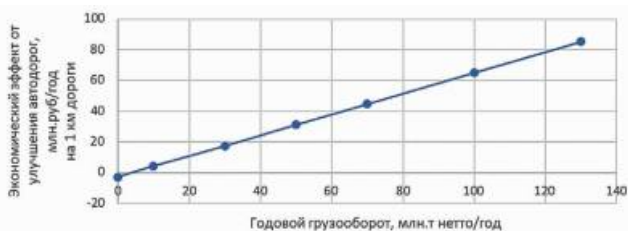


Рис. 6
Экономический эффект от улучшения конструкции и содержания участка автодороги длиной 1 км в зависимости от годового грузооборота по нему

Fig. 6
The economic effect of improving the design and maintenance of a one-kilometer-long road section depending on the annual haulage volumes

Выводы

1. Дорожные условия определяют существенную долю технико-экономических показателей технологического карьерного автотранспорта. Недоучет их значимости при высоком грузообороте влечет заметное ухудшение показателей.

2. Сложившаяся система содержания технологических автодорог Олимпиадинского и Благодатного ГОКов обеспечила адаптацию дорожных условий на приемлемом уровне к изменяющимся горнотехнологическим условиям, однако требует структурного совершенствования ввиду существенного роста грузооборота и концентрации горных работ.

3. Для технологических автодорог большегрузного транспорта в условиях ОГОК и БГОК разработана стратегия совершенствования дорожных условий, основными элементами которой являются:

а) конструкция основных автодорог должна приводиться к улучшенным параметрам, предложенным в нормативных документах, с обеспечением их толщины, соответствующей прочности основания и нагрузкам, а технология строительства – предусматривать использование качественного щебня из прочных пород и рекомендованный перечень операций, в т.ч. качественное послойное уплотнение;

б) оптимизация технологии содержания автодорог должна предусматривать выполнение работ с минимальными сроками восстановления повреждений, ориентацию на патрульное обслуживание поверхности в потоке технологического автотранспорта, периодическую замену слоя износа сообразно расчетным срокам их службы пропорционально грузопотоку, планирование концентрации дорожных работ в межсезонье с заблаговременной подготовкой к ним (в большей степени в весенний период);

в) повышение внимания к временным автодорогам в рабочей зоне карьера и на отвалах с обеспечением их возведения и поддержания на необходимом уровне (в соответствии с рекомендованными: минимальной толщиной, расходом щебня и периодичностью обслуживания по видам работ);

г) необходимо совершенствование структуры и типоразмеров парка дорожно-строительной техники с акцентом на высокопроизводительную технику: широкозахватные грейдеры сверхтяжелого класса, щебнеукладчики (способные с минимальными помехами при движении в потоке автосамосвалов укладывать слои щебня при ремонте дорог), щебнеразбрасыватели и поливо-оросительные машины класса грузоподъемности 90–100 т;

д) развитие службы по выпуску щебня для строительства автодорог (выпуск щебня в требуемых пропорциях по фракционному составу, отвечающего требованиям прочности, а также предпочтительный переход на кубовидный щебень).

4. Конкретные рекомендации по обоснованию рациональных дорожных условий для ОГОК и БГОК были разработаны в 2021–2022 гг. совместно с ИГД УрО РАН для АО «Полюс Красноярск» в рамках работы «Обоснование рациональных дорожных условий при эксплуатации карьерных большегрузных автосамосвалов на карьерах Олимпиадинского ГОКа, расчет необходимой инфраструктуры для обеспечения оптимальных дорожных условий на основных и вспомогательных технологических дорогах».

5. Расчеты показали, что вложения в качественное содержание автодорог в большинстве случаев превосходят потенциальные убытки от их деградации к неудовлетворительному состоянию при недостаточном уровне обеспечения. Экономический эффект для условий Олимпиадинского ГОКа составляет 0,6–0,65 руб./ткм.

Список литературы

1. Совмен В.К., Черемисин В.В., Поляков А.В. Современное состояние и перспективы развития горнотранспортного комплекса Олимпиадинского ГОКа. *Записки Горного института*. 2008;177:32–35. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7239>
2. Лель Ю.И., Стенин Ю.В., Колчанов А.Г. Карьерные автодороги – их значимость и проблемы совершенствования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011;(3):103–108.
3. Лель Ю.И., Арефьев С.А., Глебов А.В., Ильбульдин Д.Х. К вопросу оценки качества карьерных автодорог. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2016;(3):70–73. Режим доступа: <http://www.iuggu.ru/download/Lel-3-16.pdf>
4. da Silva Menezes D., Navarro Torres V.F. Influence of mine road grade and rolling resistance on haulage productivity and costs. *Revista de Medio Ambiente y Minería*. 2021;6(2):14–22. Available at: http://scielo.org.bo/pdf/mamym/v6n2/v6n2_a02.pdf
5. Kansake B.A., Frimpong S., Nyaaba W., Ateng I.A. Three-dimensional finite element modeling of haul road response to ultra-large dump truck dynamic loading. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2023;40(1):315–335. <https://doi.org/10.1007/s42461-022-00725-7>
6. Thompson R. Mine haul road design and management best practices for safe and cost-efficient truck haulage. In: *Society for Mining, Metallurgy and Exploration Annual Meeting & Exhibit, Feb. 28 2010*. Phoenix, Arizona, USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 2010, pp. 1–10. Available at: <http://hdl.handle.net/20.500.11937/31955>
7. Visser A.T. Haul roads can make money! *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015;115;(11):993–999. Available at: <https://www.saimm.co.za/Journal/v115n11p993.pdf>
8. Журавлев А.Г., Черепанов В.А., Карпов В.А., Неvejeин А.Ю. Оценка дорожных условий Олимпиадинского и Благодатного ГОКов. *Известия вузов. Горный журнал*. 2023;(4):25–37. Режим доступа: <http://www.mining-science.ru/download/2023/4-2023/0003.pdf>
9. Сидяков В.А., Колчанов А.Г., Стенин Ю.В. *Карьерные автомобильные дороги: проектирование, строительство, содержание*. М.: Недра; 2011. 143 с.

References

1. Sovmen V.K., Cheremisin V.V., Polyakov A.V. The current state and prospects of development of the mining and transport complex of the Olimpiadinsky mining and processing plant. *Journal of Mining Institute*. 2008;177:32–35. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7239>
2. Lel' Yu.I., Stenin Yu.V., Kolchanov A.G. Open pit transport roads and their importance as well as problems of their improvement. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2011;(3):103–108. (In Russ.)
3. Lel' Yu.I., Aref'ev S.A., Glebov A.V., Il'bul'din D.Kh. The issue of quality assessment of quarry roads. *News of the Ural State Mining University*. (In Russ.) Available at: <http://www.iuggu.ru/download/Lel-3-16.pdf>
4. da Silva Menezes D., Navarro Torres V.F. Influence of mine road grade and rolling resistance on haulage productivity and costs. *Revista de Medio Ambiente y Minería*. 2021;6(2):14–22. Available at: http://scielo.org.bo/pdf/mamym/v6n2/v6n2_a02.pdf
5. Kansake B.A., Frimpong S., Nyaaba W., Ateng I.A. Three-dimensional finite element modeling of haul road response to ultra-large dump truck dynamic loading. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2023;40(1):315–335. <https://doi.org/10.1007/s42461-022-00725-7>
6. Thompson R. Mine haul road design and management best practices for safe and cost-efficient truck haulage. In: *Society for Mining, Metallurgy and Exploration Annual Meeting & Exhibit, Feb. 28 2010*. Phoenix, Arizona, USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 2010, pp. 1–10. Available at: <http://hdl.handle.net/20.500.11937/31955>
7. Visser A.T. Haul roads can make money! *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015;115;(11):993–999. Available at: <https://www.saimm.co.za/Journal/v115n11p993.pdf>
8. Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A., Karpov V.A., Nevezhin A.Iu. Assessing the road conditions of the Olimpiada and Blagodatny mining and processing plants. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2023;(4):25–37. (In Russ.) Available at: <http://www.mining-science.ru/download/2023/4-2023/0003.pdf>
9. Sidiyakov V.A., Kolchanov A.G., Stenin Yu.V. *Quarry roads: design, construction, maintenance*. Moscow: Nedra; 2011. 143 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Журавлев Артем Геннадиевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: juravlev@igduran.ru

Черепанов Владимир Александрович – научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: transport@igduran.ru

Карпов Виктор Александрович – главный горняк, АО «Полюс Красноярск», г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: KarpovVA@polyus.com

Неvejeин Александр Юрьевич – кандидат технических наук, старший горный инженер АО «Полюс Красноярск», г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: nevezhinayu@polyus.com

Information about the authors

Artem G. Zhuravlev – Cand. Sci. (Eng.), Laboratory Chief, Institute of Mining of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: juravlev@igduran.ru

Vladimir A. Cherepanov – Scientific Researcher, Institute of Mining of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: transport@igduran.ru

Viktor A. Karpov – Chief Miner, JSC Polyus Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Russian Federation; e-mail: KarpovVA@polyus.com;

Alexander Yu. Nevezhin – Cand. Sci. (Eng.), Senior Mining Engineer, JSC Polyus Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Russian Federation, e-mail: nevezhinayu@polyus.com

Article info

Received: 26.07.2023

Revised: 16.09.2023

Accepted: 29.09.2023

Информация о статье

Поступила в редакцию: 26.07.2023

Поступила после рецензирования: 16.09.2023

Принята к публикации: 29.09.2023