

Оценка дорожных условий Олимпиадинского и Благодатного ГОКов

Журавлев А. Г.^{*1}, Черепанов В. А.¹, Карпов В. А.², Небезин А. Ю.²

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² АО «Полюс Красноярск», пос. Северо-Енисейский, Красноярский край, Россия

*e-mail: juravlev@igduran.ru

Реферат

Введение. В последнее десятилетие благодаря совершенствованию проектных решений при освоении открытым способом Олимпиадинского и Благодатного месторождений, разработку которых ведет АО «Полюс Красноярск», достигнуты значительный рост проектной глубины карьеров и производительности, улучшение технико-экономических показателей, что в конечном итоге ведет к более полному освоению их георесурсного потенциала. Однако при этом наблюдаются проблемы, связанные с поддержанием на должном уровне дорожных условий для функционирования технологического автотранспорта особо большой грузоподъемности 130–220 т.

Цель. Провести оценку дорожных условий Олимпиадинского и Благодатного горно-обогатительных комбинатов.

Методика. Для поиска рациональных параметров дорожных условий выполнена оценка состояния технологических автодорог Олимпиадинского и Благодатного ГОКов в увязке со среднетехнической скоростью движения автосамосвалов. Использовались натурные замеры, хронометраж, а также статистическая обработка данных системы автоматизированной диспетчеризации и учета работы карьерного автотранспорта, функционирующей на Олимпиадинском и Благодатном ГОКах.

Результаты. Установлены особенности дорожных условий функционирования технологического автотранспорта Олимпиадинского и Благодатного ГОКов: сезонность состояния автодорог и ее влияние на среднетехническую скорость автосамосвалов; динамика расхождения щелья на строительство и содержание автодорог в течение года; несоответствие парка дорожно-строительной техники фактическим условиям. Выявлены особенности применения нормативно-справочной литературы в части расчета дорожных одежд, а также структуры и количества дорожно-строительной техники для обслуживания автодорог.

Выводы. Определены направления совершенствования нормативно-справочной документации: требуется уточнение методики расчета количества дорожно-строительной техники для конкретных условий эксплуатации с дифференциацией по параметрам автодорог и грузообороту; для горнодобывающих предприятий со значительным грузооборотом в дополнение к методике СП 37.13330.2012 необходимо применять оптимизацию конструкции дорожных одежд с учетом технико-экономических показателей.

Ключевые слова: глубокий карьер; карьерные автодороги; карьерные автосамосвалы; производительность; ровность дороги; Олимпиадинский ГОК; Благодатный ГОК.

Введение. Олимпиадинское месторождение с запасами более 1000 т является одним из крупнейших в мире [1]. Олимпиадинский и Благодатный горно-обогатительные комбинаты (ОГОК и БГОК) образуют основную производственную базу красноярской бизнес-единицы компании «Полюс» (АО «Полюс Красноярск»). В течение 2021 г. компания наращивала интенсивность вскрышных работ чтобы компенсировать отставание по объемам вскрыши, накопленное годом ранее,

поэтому годовая выемка по горной массе выросла на 14 %, а переработка руды – на 7 % (за счет замены мельницы на золотоизвлекательной фабрике ЗИФ-3 и продолжающейся отладки технологической схемы всего комплекса биоокисления). В настоящее время ведется строительство новой ЗИФ и дробильно-конвейерного комплекса для доставки руды от карьера БГОКа до фабрики. Это позволит увеличить совокупную производительность по месторождению еще на 13,4 % [2].

В целях обеспечения технико-экономической возможности освоения месторождений на большую глубину открытым способом (например, 765 м для карьера «Восточный» ОГОКа) специалистами ООО «Полюс проект» разработаны проектные решения, обеспечивающие оптимизацию геометрических параметров карьера (сокращения коэффициента вскрыши) за счет: уменьшения ширины транспортных берм благодаря специальной конструкции элементов поперечного профиля; повышения уклона автодорог до 100 %. Это позволяет увеличить угол откоса бортов карьера, сократить как текущий, так и средний коэффициент вскрыши. Для реализации указанных решений предусмотрены особые мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации технологического транспорта.

Постоянное наращивание производственной мощности и углубление карьеров ведут к увеличению расстояния транспортирования и повышению затрат. С целью снижения цеховой себестоимости перемещения карьерных грузов за счет оптимального баланса совершенствования и содержания дорожного фонда основных технологических дорог на Олимпиадинском и Благодатном ГОКах были привлечены специалисты Института горного дела УрО РАН. Проведен анализ факторов, определяющих состояние технологических автодорог и влияющих на производительность автотранспорта, выполнена оценка текущего состояния дорожных условий: достаточность применяемой нормативной базы для проектирования дорог, физико-механические свойства пород основания и материалов дорожных одежд, конструкции и состояния верхних слоев технологических автомобильных дорог карьеров «Восточный» и «Благодатный».

Методы исследований. Для выбора методик исследования дорожных условий проанализирована научно-техническая и нормативно-методическая литература. Для определения фактических параметров автодорог и показателей движения карьерных автосамосвалов выполнялись натурные замеры, хронометраж, а также статистическая обработка данных системы автоматизированной диспетчеризации и учета работы карьерного автотранспорта, функционирующей на ОГОКе и БГОКе. Замеры ровности автодорог, а также продольного и поперечного профилей производились дорожной трехметровой рейкой КП-231С, курвиметром дорожным RGK Q8 и рулеткой, поверенными в установленном порядке.

Полученные результаты и их анализ. Особенностью схемы разработки месторождений Олимпиадинского и Благодатного ГОКов является этапность, предусматривающая расширение и углубку карьера. При этом выполняемый в настоящее время и последующий запроектированный этапы для карьера «Восточный» предусматривают разнос бортов кольцеобразной рабочей зоной, включающей до 3–5 рабочих горизонтов, что определяет высокую концентрацию ведения горных работ (рис. 1).

Вследствие применения автосамосвалов особо большой грузоподъемности и высокой производительности карьера по горной массе создаются специфические условия эксплуатации технологических автодорог (табл. 1), осложняющие задачу поддержания их в удовлетворительном состоянии.

При строительстве и эксплуатации карьерных дорог с применением большегрузных карьерных автосамосвалов особенно актуальными становятся вопросы

неоднородности и низких деформационных характеристик грунтов основания, что приводит к высокой разбитости дорожного покрытия, проблемам эксплуатации в весенне-осенний период, повышенному расходу топлива и дорогостоящим ремонтам самосвалов из-за плохого состояния карьерных дорог [3, 4]. Кроме этого, на снижение производительности самосвалов влияет коэффициент сопротивления качению [5] и др. факторы. Основной парк ОГОКа и БГОКа составляет ~170 ед. самосвалов грузоподъемностью 136 т и ~220 т.

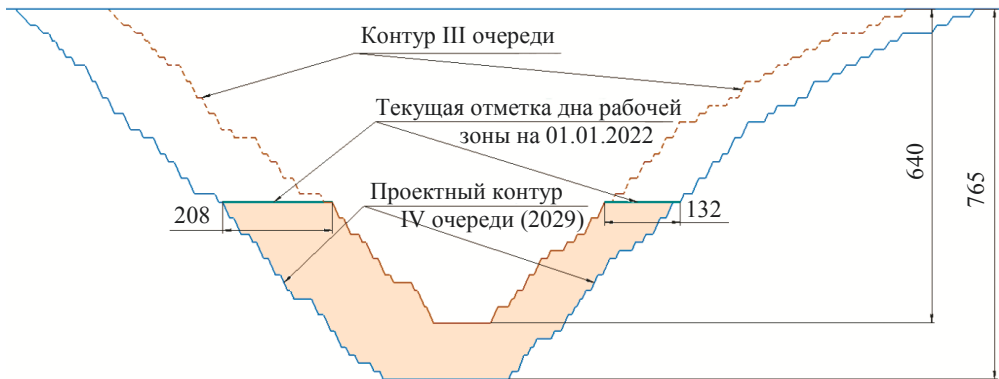


Рисунок 1. Сопоставление контуров карьера «Восточный» разных очередей (дана средняя по отметкам поверхности глубина)

Figure 1. Comparison of the outlines of the Vostochny open pit of different stages (the average depth according to the surface marks)

Объемы выемки горной массы подвержены не только изменениям, связанным с параметрами проекта горных работ, но также сезонным колебаниям. В некоторые периоды времени указанные факторы накладываются друг на друга, обуславливая заметное падение производительности. Наглядно влияние дорожных условий отображается на графике среднетехнических скоростей движения карьерных автосамосвалов (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что на скорость движения карьерных автосамосвалов оказывают влияние погодные условия, определяя **четыре эксплуатационных сезона для автодорог**.

Наибольшая скорость характерна для **зимнего периода**, когда дорожное полотно проморожено и за счет грейдирования поддерживается ровность покрытия. Достаточный уровень сцепных свойств дорожного полотна для исключения пробуксовки колес автосамосвалов обеспечивается комплексом мероприятий, разработанных специалистами дорожно-отвального участка ОГОКа:

- постоянной очисткой дорожного полотна курсирующими автогрейдерами и колесными бульдозерами;
- регулярной подсыпкой дорог щебнем;
- периодическим поднятием щебня, вмороженного в дорожное полотно, специальным механизированным способом.

Значительное падение среднетехнической скорости движения автосамосвалов (на 17–20 %) характерно для **периода весенней оттайки** (март–май), когда состояние дорожного полотна ухудшается, а для его поддержания в удовлетворительном состоянии осуществляется постоянная зачистка поверхности дорожно-строительной техникой, что дополнительно создает помехи для движения основного технологического автотранспорта. С конца апреля начинаются ремонтно-

Таблица 1. Особенности эксплуатации технологических автодорог Олимпиадинского и Благодатного ГОКов

Table 1. Features of haul roads operation at the Olimpiada MPP and Blagodatny MPP

Фактор	Следствия
<i>Технологические факторы</i>	
Значительный грузооборот (120–130 млн т/г на ОГОКе и 80–85 млн т/г на БГОКе)	Высокий износ дорожного покрытия. Высокие требования к прочности дорожного полотна, качеству технологии его возведения и содержания.
Большая протяженность сети карьерных и отвальных технологических автодорог	Значительный объем необходимых работ по содержанию и ремонту на автодорогах.
Карьерные автосамосвалы особо большой грузоподъемности 130–220 т	Необходимость скоростного выполнения дорожных ремонтно-восстановительных работ и их большой объем. Все это требует применения скоростной и производительной дорожно-строительной техники.
Высокие темпы углубки карьера	Значительный объем дорожно-строительных работ. Короткий срок службы автодорог в рабочей зоне.
Съезды с повышенными уклонами*	Повышенные требования к содержанию поверхности автодорог для обеспечения сцепления колес с дорогой. Повышенный износ шин карьерных автосамосвалов. Образование просыпей из кузовов автосамосвалов и необходимость постоянной их уборки с проезжей части. Учитывая ограниченную по тяговым возможностям скорость движения карьерных самосвалов на подъем, требуется обеспечить отсутствие препятствий для их движения во избежание снижения производительности.
Вскрытие нижней части карьера одиночным капитальным съездом*	Высокая интенсивность движения вызывает: – высокий износ дорожного полотна, интенсивные просыпи; – сложность выполнения дорожных работ в условиях потока. Необходимость поддерживать автодорогу в хорошем состоянии для обеспечения ее пропускной способности. Сложность организации ремонта дорожного полотна из-за создания помех технологическому автотранспорту.
<i>Сезонно-климатические факторы</i>	
Обильные снегопады в зимний период	Необходимость аврального выполнения значительного объема дорожных работ: очистки, подсыпки щебнем для исключения гололеда, достаточно быстро образующегося при большом грузопотоке. Большой расход противогололедных материалов.
Значительные отрицательные температуры и длительность зимнего периода	Сложность выравнивания промороженной поверхности автодороги (поломка машин легкого и среднего класса от перегрузок)
<i>Свойства пород</i>	
Вскрышные породы средней прочности и их использование для строительства автодорог	Потребность в обустройстве мощных дорожных одежд для обеспечения прочности автодорог. Истирание пород дорожных одежд большегрузными автосамосвалами в условиях значительного грузопотока. Ухудшение расклинки слоев дорожных одежд в условиях распутицы.

* Обусловлено технологическими решениями, направленными на сокращение коэффициента вскрыши для максимального рационального освоения запасов.

восстановительные работы на оттаявших автодорогах. К середине мая автодороги просыхают, и скорости автосамосвалов планомерно возрастают.

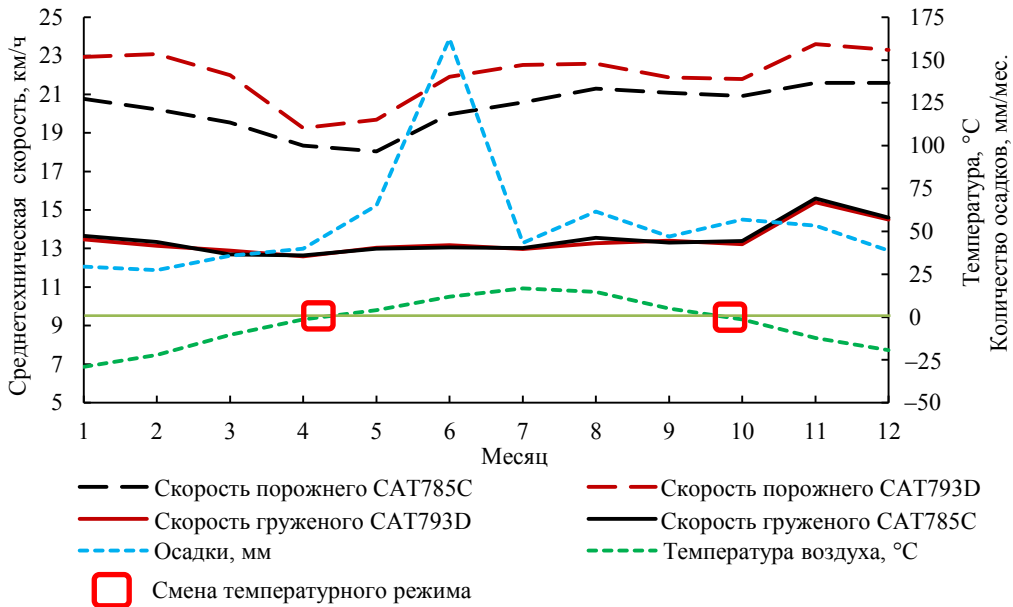


Рисунок 2. Изменение среднетехнической скорости движения автосамосвалов и погодных условий в карьерах Олимпиадинского ГОКа в 2021 г.

Figure 2. Changes in the average running speed of dump trucks and weather conditions in the open pits of the Olimpiadinskoye GOK in 2021

В летний сезон выделяются 2 периода:

– *восстановление автодорог* по мере просыхания, а также их текущий ремонт после осенне-зимнего периода (вырезка участков деградировавшего верхнего слоя дорожного покрытия, подсыпка ям и неровностей, просевших участков, восстановление слоя износа, который значительно страдает при срезании снежно-щебеночного слоя во время зимнего периода и т. п.). Процесс восстановления растягивается из-за начала дождей, увлажняющих поверхность. Тем не менее наблюдается рост среднетехнической скорости автосамосвалов на 12–15 %;

– *стабильное удовлетворительное состояние автодорог* при благоприятных погодных условиях наблюдается с июля по август. Устойчивая температура воздуха на уровне 15–25 °С обеспечивает быстрое просыхание поверхности даже при обильных осадках. В этот период ведется плановый ремонт автодорог. Все это позволяет поддерживать скорость автосамосвалов на уровне номинальной (относительно предыдущего периода выше на 4–5 %).

С начала сентября снижающаяся ниже 8–10 °С среднесуточная температура, а также облачность создают условия для насыщения покрытия автодорог влагой выпадающих осадков, вызывая распутицу. В этот период наблюдается активное образование ям, наката с малой длиной волны на проезжей части, а на отдельных участках – образование колеи. Все это вызывает снижение среднетехнической скорости автотранспорта на 5 %. Как правило, со второй половины октября начинаются заморозки, и к ноябрю состояние автодорог улучшается благодаря исключению распутицы при условии регулярных работ по поддержанию нормального состояния. Среднетехническая скорость автотранспорта растет вплоть до максимальных сезонных значений к зиме.

В наибольшей мере колебаниям подвержена среднетехническая скорость порожних автосамосвалов, так как груженные поднимаются со значительно меньшей скоростью, ограничиваемой тягово-динамическими свойствами машин.

Суммарная протяженность технологических автодорог (карьерных, отвальных, межплощадочных и вспомогательных) на ОГОКе составляет 137,7 км, на БГОКе – 86,3 км. При этом общая протяженность всех автодорог, закрепленных за дорожной службой Олимпиадинского и Благодатного ГОКов и их подрядных организаций, составляет 824,7 км (включая подъездные автодороги и зимники). Выполненные на рассматриваемых предприятиях наблюдения и анализ парка дорожно-строительной и вспомогательной техники для возведения и поддержания карьерных технологических автодорог позволили установить, что несмотря на имеющийся парк тяжелых высокопроизводительных машин, он не обеспечивает в полной мере поддержание высокого уровня дорожных условий для ОГОКа и БГОКа в связи со специфическими особенностями эксплуатации (табл. 1). Анализ нормативно-технической литературы [6], (*ВНТП-13-1-86/МЧМ СССР. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки / Министерство черной металлургии СССР. Л., 1986; ВНТП 2-92. Нормы технологического проектирования угольных и сланцевых разрезов / Министерство топлива и энергетики РФ; Комитет угольной промышленности. М., 1993*) показал, что в известных методиках расчета парка дорожно-строительной техники (ДСТ) акцент, как правило, сделан на расчет производительности каждого вида машин (грейдеры, бульдозеры, скреперы, щебнебросы и т. д.). Однако нет единой методики определения объема работ по содержанию автодорог, тем более применительно к карьерам. Вместо этого предлагается определить объем таких работ по местным условиям индивидуальным способом (подразумевается, что методика разрабатывается самостоятельно на предприятиях) либо пользоваться справочными данными о рекомендуемом количестве и типоразмере ДСТ. Отметим, что старые нормы опираются на устаревшие данные, базируются на технике меньшей единичной мощности и могут не отражать объективной картины для высокопроизводительных горнодобывающих предприятий или не учитывать специфические условия интенсивной разработки глубоких карьеров в настоящее время и требуют актуализации.

Вопрос обоснования оптимальной конструкции дорожных одежд для рассматриваемых горно-технических условий, технологии их строительства, а также содержания, которые обеспечивали бы требуемые эксплуатационные характеристики с учетом формирования существенной доли затрат при разработке месторождений также является актуальным. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы выбранный тип покрытия и конструкция карьерных дорог обеспечивали минимум приведенных затрат на строительство и обслуживание [7–9]. По результатам различных исследований за счет строительства дорожных одежд и обеспечения конструкций карьерных дорог с учетом параметров конкретных автотранспортных потоков, а также более качественного содержания дорог возможно снизить затраты на технологический транспорт по отдельным статьям до 20–60 % [10], например, благодаря сокращению времени цикла (увеличение сопротивления качению на 1 % может снизить скорость на подъеме на 10 %, а на горизонтальной прямой – до 26 % [11]), снижению расхода топлива, затрат на шины и общей стоимости на тонну перевозимой горной массы. Кроме этого, увеличивается безопасность карьерного транспорта [12].

Уплотнение автодорог на карьерах ОГОКа и БГОКа осуществляется движущимся технологическим автотранспортом в процессе транспортирования руды и вскрыши (в основном карьерными автосамосвалами грузоподъемностью 136 и 220 т). Специальные работы по уплотнению при строительстве дорог на ОГОКе и БГОКе не производятся. Это связано с нехваткой техники вспомогательного характера (автоскреперы для укладки слоя щебня, современные катки, автогудронаторы). Такая картина характерна для горнодобывающих предприятий в целом, поскольку мало внимания уделяется вопросам точного соблюдения толщины слоев дорожных одежд карьерных автодорог, их постоянному технологичному восстановлению, применению современных материалов для поддержания качества дорожного покрытия.

Как показывают исследования ИГД УрО РАН и УГГУ [13–15], уплотнение автосамосвалами грузоподъемностью свыше 60–90 т будет не менее эффективно, чем современными катками [16] – при условии, что уплотнение дорожного полотна осуществляется послойно и при специальной организации проходов самосвалов (требует дополнительного времени, ведет к снижению производительности транспорта, особенно в глубинной зоне карьеров, и должно оцениваться в конкретных условиях эксплуатации). Без этого наблюдаются неравномерность уплотнения на вновь отстраиваемых участках автодорог, особенно в рабочей зоне карьера на временных автодорогах, и образование в процессе уплотнения волн на дорожных одеждах. После неоднократной подсыпки и выравнивания дорожного полотна уплотнение становится более равномерным.

В настоящее время на карьере «Восточный» эксплуатируется четыре дробильно-сортировочных установки, на карьере «Благодатный» – одна. На основе сложившегося опыта эксплуатации для внутриплощадочных дорог применяют щебень фракции 40–70 мм, редко – 0–40 мм, полученный из кварц-карбонатных вскрышных пород карьеров. Физико-механические свойства указанных скальных пород удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267-82 «Щебень из естественного камня для строительных работ» и ГОСТ 25607-94 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов», в том числе по прочности (80–110 МПа). Однако в зависимости от обрабатываемого участка в разработку попадают менее прочные породы (как правило, это сланцы), в том числе те, которые подвержены сильной циклотермической деградации (после нескольких циклов замораживания–оттайки расслаиваются). Щебень из них имеет сниженные, а в отдельных случаях неудовлетворительные свойства, а потому быстро деградирует в дорожной одежде и может применяться только для временного восстановления дорожного полотна с последующей заменой. Ситуация на Благодатном ГОКе в этом плане более сложная.

Объем отгрузки щебня для обслуживания технологических автодорог ОГОКа и БГОКа за 4 года увеличился с 65 до 490 тыс. м³/г. Объемы отгруженного щебня за 2021 г. приведены на рис. 3. Видно, что наибольший расход приходится на осень и начало зимы, что связано с ремонтами в распутицу и запасанием противогололедной подсыпки на зимний период. Сопоставление расхода щебня со статистикой его производства показало, что для ритмичной работы по содержанию автодорог необходимо увеличить мощности дробильно-сортировочного комплекса.

Оценка состояния автодорог проводилась с помощью соответствующих замеров по четырем сезонам года (зима, весна, лето, осень). Для замеров визуально выбирались характерные участки, отражающие состояние рассматриваемых автодорог в целом. Один из показателей – ровность дорожного покрытия – при-

веден на рис. 4 в виде среднестатистических значений. Видно, что неровности в весенний и осенний период выше вследствие распутицы. При этом наибольшее сезонное ухудшение имеет место для временных отвальных автодорог. В летний период капитальные внутрикарьерные и поверхностные дороги находятся в наилучшем состоянии и характеризуются как «ровные». Значительной неровностью отличаются временные карьерные автодороги в рабочей зоне и забойные проезды, при этом на их состояние в большей мере влияют условия ведения горных работ, поэтому от сезона года ровность зависит мало. Высокая неровность временных и забойных дорог в зимний период объясняется промораживанием их поверхности, вследствие чего они выравниваются только после многократной укатки работающим автотранспортом. Летом же подвижность частиц во взорванной горной массе выше и, соответственно, ровность лучше.

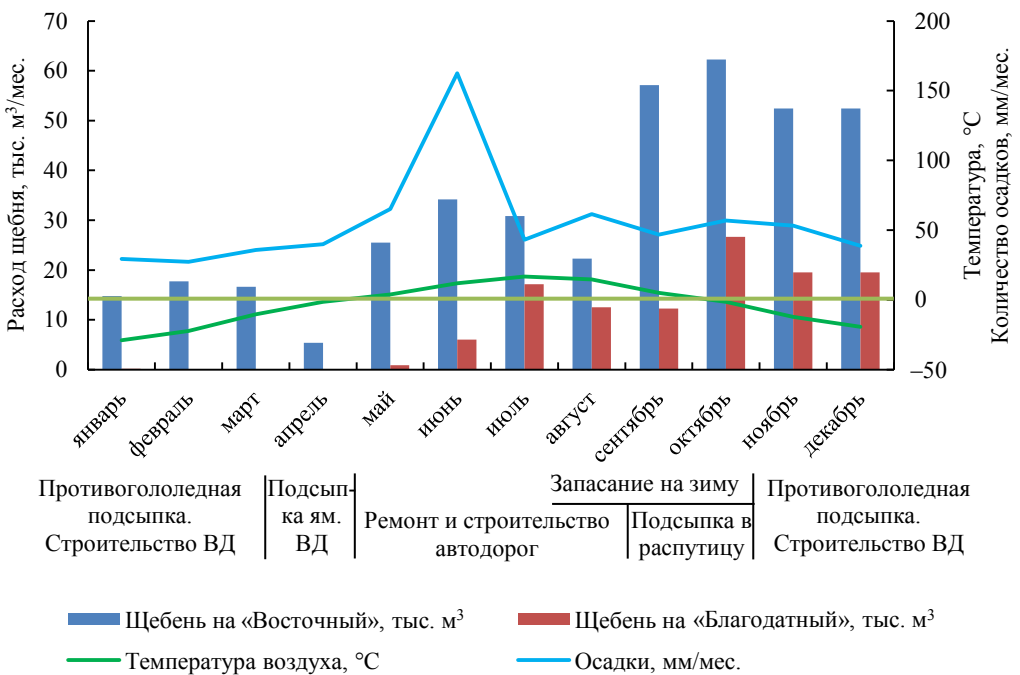


Рисунок 3. Фактические объемы отгруженного щебня для поддержания и строительства дорог на карьерах «Восточный» и «Благодатный» за 2021 г. (ВД – временные карьерные дороги)
 Figure 3. Actual volumes of shipped crushed stone for road maintenance and construction at the Vostochny and Blagodatny open pits for 2021 (ВД – temporary haul roads)

Отметим, что, согласно СП37.13330.2012 (*Промышленный транспорт. СП 37.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91* (с Изменениями N 1, 2, 3, 4): утвержден Минрегион России, 29.12.2011. 202 с.*), предельный размер неровностей для технологических автодорог категории «к» составляет 20 мм (не более 10 % замеров могут иметь значения до 20 мм, остальные – до ±10 мм). Для карьерных автосамосвалов особо большой грузоподъемности более 130 т с диаметром колеса более 3 м такие неровности заметны при движении, но не критично влияют сами по себе на скорость. Ключевым негативным фактором является их частота. Наиболее отрицательно на движении машин сказываются волны малой длины, образующиеся от наката, которые у автосамосвалов с относительно жесткой по характеристикам подвеской вызывают вибрации, что вынуждает водителя

снизить скорость. Гололед и обводненность вызывают потерю сцепления колес с дорогой, что заставляет дополнительно снизить скорость. Таким образом, показатели ровности, нормируемые для новых технологических автодорог (*Промышленный транспорт. СП 37.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91** (с Изменениями N 1, 2, 3, 4): утвержден Минрегион России, 29.12.2011. 202 с.; *Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01. Отраслевые дорожные нормы: утвержден Росавтодор 20.12.2000. N 218.046-01. Применяется с 01.01.2001 взамен ВСН 46-83. 148 с.; Инструкция по расчету дорожных одежд нежесткого типа для карьерных дорог под автосамосвалы грузоподъемностью 27–180 т / Госстрой СССР. Главное управление проектирования ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ. Москва, 1988. 56 с.), не в полной мере отражают требования к состоянию карьерных автодорог, находящихся в эксплуатации при использовании современных большегрузных автосамосвалов.*

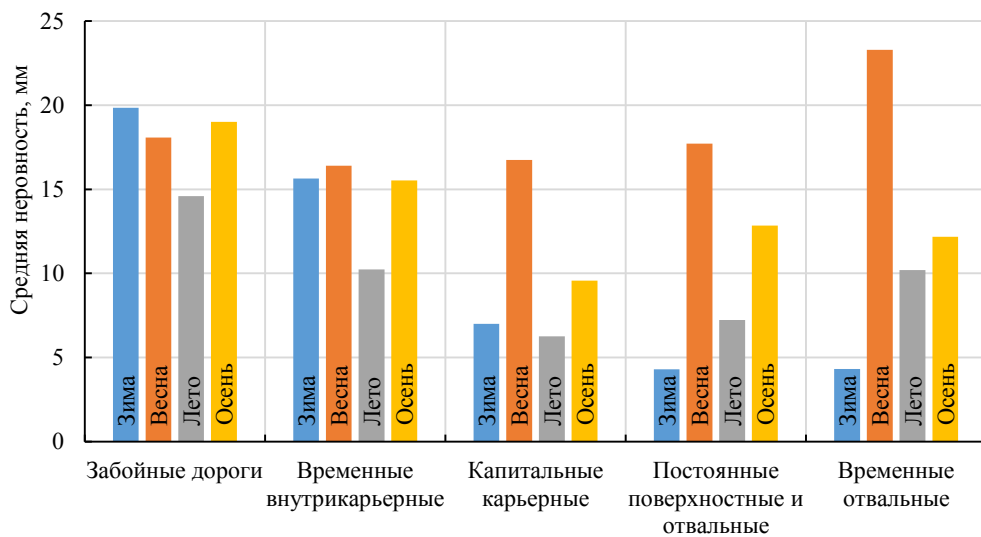


Рисунок 4. Сезонные изменения ровности технологических автодорог
Figure 4. Seasonal patterns of haul roads evenness

Проведенные исследования ровности дорог на ОГОКе и БГОКе показали, что при средней величине неровностей до 10 мм по результатам замеров на участке длиной 30–50 м дорога является ровной, не вызывая необходимости снижать скорость по этому критерию.

Ухудшение дорожных условий приводит к снижению мгновенной скорости движения карьерных автосамосвалов в среднем на 3–8 км/ч. Основными видами нарушений дороги дополнительно к «микро-неровностям» в плане являются:

- выбоины диаметром более 800 мм и глубиной более 30 мм;
- выступающие неровности диаметром более 100 мм и высотой более 20 мм;
- волны глубиной 5–10 мм и длиной 40–70 мм (вызывают вибрацию, отрицательно воздействующую на водителя, а также ухудшающую сцепление колес с дорогой);
- волны глубиной 50–100 мм и длиной 3–4 м, вызывающие раскачивание автосамосвала (характерно для зимнего периода вследствие наката при торможении, деформации укатанного снежного слоя);
- обводненный слой продуктов износа дорожного полотна на его поверхности толщиной более 50 мм вследствие ухудшенного сцепления колеса с дорогой.

В зависимости от характера нарушения дорожного полотна наблюдается снижение среднетехнической скорости автотранспорта на 0,5–4 км/ч, что соответствует потере производительности 60–800 т/сут на 1 автосамосвал и 12 000–96 000 т/сут на весь парк карьерных автосамосвалов ОГОКа и БГОКа грузоподъемностью 136–220 т соответственно.

Конструкция дорожных одежд, необходимая для условий Олимпиадинского и Благодатного ГОКов, оценивалась на заключительном этапе анализа дорожных условий. Расчетная толщина по методике СП 37.13330.2012 с учетом высокого грузооборота и значительной грузоподъемности автосамосвалов (до 221 т) составила более 2 м для всех типов автодорог. Очевидно, что возведение таких дорог с коротким сроком службы весьма затратно, а в условиях стесненной рабочей зоны карьера и большого грузопотока затруднительно по организационно-технологическим и экономическим причинам. В связи с этим конструкция дорожных одежд автомобильных дорог ОГОКа и БГОКа должна оптимизироваться в меньшую сторону относительно расчетных значений в зависимости от типа автодорог. Для выполнения такой оптимизации требуется разработать прикладную методику, обеспечивающую при проектировании дорожной одежды учет: во-первых, ее стоимости; во-вторых, технологии строительства и вызываемых этим помех для технологического автотранспорта; в-третьих, технико-экономических показателей движения по ней технологического автотранспорта в период эксплуатации; в-четвертых, частоты ее ремонта и затрат на него. Полагаем, что такая методика будет применима для целого ряда аналогичных горно-технических условий, а при достаточном обобщении и учете опыта широкого круга горнодобывающих предприятий может приобрести статус отраслевой.

Выводы. Учитывая интенсивность развития горных работ, возрастающий грузопоток и оптимизацию грузоподъемности автосамосвалов в процессе освоения месторождений, параметры конструкции дорожных одежд, а также технология строительства и эксплуатации транспортных коммуникаций требуют соответствующего совершенствования и развития.

Установлено, что технико-экономические показатели движения карьерных автосамосвалов по технологическим дорогам и состояние дорожного полотна в зависимости от сезонов года взаимосвязаны. Такая взаимосвязь в общем случае устанавливается по показателям: средняя скорость движения автосамосвалов по участкам дорог, средняя высота неровностей дороги при учете среднесуточной температуры, количество осадков. Построенные графики служат основой для оценки приемлемости конструкции дорожных одежд и их стойкости для конкретных сезонно-климатических условий. Установлено, что для ОГОКа и БГОКа характерно сезонное снижение среднетехнической скорости движения карьерного автотранспорта до 20 % при неблагоприятных дорожных условиях.

Наиболее современная методика расчета дорожных одежд нежесткого типа, заключающаяся в изменении толщины слоев в зависимости от проверочного расчета, для карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 30–450 т приведена в приложении К в СП 37.13330.2012, согласно которому общие положения по методике расчета и проектированию дорожных одежд необходимо принимать в соответствии с МОДН 2-2001 «Проектирование нежестких дорожных одежд». Расчетные значения толщины дорожных одежд по методике СП 37.13330.2012 при большой грузоподъемности карьерных автосамосвалов и большом грузообороте составляют значительную величину и обуславливают с одной стороны дополнительные затраты на строительство, с другой – сокращение эксплуатационных расходов.

Поэтому для предприятий с грузооборотом более 40 млн т нетто в год рекомендуется выбор конструкции дорожной одежды и тип покрытия обосновывать технико-экономическим анализом вариантов с учетом: установления допустимого уровня надежности дорожной конструкции к концу периода между капитальными ремонтами; уменьшения ее материалоемкости, особенно в части использования дефицитных материалов; уменьшения затрат на ее содержание.

Существует проблема недостаточности современной нормативно-справочной базы для корректного расчета парка ДСТ для содержания технологических автодорог категории «к» под конкретные специфические условия, особенно для отработки глубоких карьеров округлой или близкой к ней формы при высокой производственной мощности. В частности, в ряде справочников не учитываются возможности современных высокопроизводительных машин. Основная же проблема – в отсутствии четкой дифференциации по протяженности и ширине обслуживаемых автодорог, грузоподъемности эксплуатируемых автосамосвалов и грузообороту, а также сезонно-климатическим условиям. Кроме того, следует учитывать категорию надежности поддержания хорошего состояния дорожного покрытия, например, для вариантов применения крутонаклонных съездов, когда требуется стабильное поддержание высокого коэффициента сцепления колес с дорогой. Наконец, требуемый объем работ по содержанию карьерных автодорог, приведенный к единице времени (сутки, неделя), не нормируется в справочной литературе, а потому либо должен рассчитываться индивидуально, что затруднительно в отсутствие прикладной методики, либо количество ДСТ должно устанавливаться опытным путем.

Для оптимизации конструкции карьерных автодорог необходима разработка прикладной методики, учитывающей стоимость, технологию строительства, затраты на ремонт дорожной одежды, технико-экономические показатели движения карьерной техники и др. Такая методика может оказаться востребованной для целого ряда предприятий с аналогичными горно-техническими условиями и приобрести статус отраслевой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Д. В., Косолапов А. И. Обоснование параметров горнотехнической системы карьера для разработки Олимпиадинского золоторудного месторождения // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 5–11. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-5-11
2. Годовые отчеты ПАО «Полус». URL: <https://polyus.com/ru/investors/disclosure/annual-reports/> (дата обращения: 27.04.2023).
3. Solovyev G. V., Vatchnadze K. I. Improving of performance characteristics during mechanical stabilization of quarry haul roads with stiff polymeric Tensar TriAx hexagonal geogrid // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. P. 666–672
4. Бродникова С. Д., Маслов Н. А. Применение метода и системы диагностирования земляного полотна карьера // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 2. С. 15–23. DOI 10.33764/2618-981X-2020-2-15-23
5. Kuznetsov D. V., Kosolapov A. I. Dynamic of performance of open-pit dump trucks in ore mining in severe climatic environment // Transportation Research Procedia. 2022. Т. 63. С. 1042–1048.
6. Сидяков В. А., Колчанов А. Г., Стенин Ю. В. Карьерные автомобильные дороги: проектирование, строительство, содержание. М.: Недра, 2011. 143 с.
7. Kaufman W. W., Ault J. C. Design of surface mine haulage roads: a manual / US Department of the Interior, Bureau of Mines. PA, Pittsburgh: 1978. 49 p.
8. Williamson O. C. Haul road design for off-highway mining equipment // World Mining Equipment (United States). 1987. Vol. 12. No. 3. P. 24–26.
9. Thompson R. J., Visser A. T. Mine haul road maintenance management systems // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2003. Vol. 103. No. 5. P. 303–312.
10. Лель Ю. И., Стенин Ю. В., Колчанов А. Г. Карьерные автодороги – их значимость и проблемы совершенствования // ГИАБ. 2011. № 3. С. 103–108.
11. Thompson R. Mine haul road design and management best practices for safe and cost-efficient truck haulage // Society for Mining, Metallurgy and Exploration Annual Meeting & Exhibit, February 28, 2010. Phoenix, Arizona, USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2010. P. 1–10.
12. Thompson R., Peroni R., Visser A. Mining haul roads: theory and practice (1st ed.). CRC Press, 2018. 316 p. URL: <https://doi.org/10.1201/9780429491474> (дата обращения: 27.04.2023).

13. Стенин Ю. В., Могилат В. Л. Особенности технологии уплотнения карьерных автодорог // Проблемы карьерного транспорта: матер. междунар. науч.-техн. конф. 3–4 декабря 2002 г. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2002. С. 60–64.

14. Арефьев С. А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности: дисс... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2015. 179 с.

15. Лель Ю. И., Арефьев С. А., Глебов А. В., Ильбульдин Д. Х. К вопросу оценки качества карьерных автодорог // Известия УГГУ. 2016. № 3(43). С. 70–73. DOI: 10.21440/2307-2091-2016-3-70-73

16. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1975. 288 с.

Поступила в редакцию 15 декабря 2022 года

Сведения об авторах:

Журавлев Артем Геннадиевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией Института горного дела УрО РАН. E-mail: juravlev@igduran.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7643-3994>

Черепанов Владимир Александрович – научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: transport@igduran.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3946-0130>

Карпов Виктор Александрович – главный горняк АО «Полус Красноярск». E-mail: reception@polyus.com

Невезжин Александр Юрьевич – кандидат технических наук, старший горный инженер АО «Полус Красноярск». E-mail: nevezhinayu@polyus.com

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-4-25-37

Assessing the road conditions of the Olimpiada and Blagodatny mining and processing plants

Artem G. Zhuravlev¹, Vladimir A. Cherepanov¹, Viktor A. Karpov², Aleksandr Iu. Nevezhin²

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

² JSC Polyus Krasnoyarsk, Severo-Yeniseysky, Krasnoyarsk Krai, Russia.

Abstract

Introduction. In the recent decade, design solutions at the open-pit mines of Olimpiada and Blagodatny deposits developed by JSC Polyus Krasnoyarsk have been enhanced. It has resulted in improved technical-economic indicators and increased open pit design depth and productivity, which ultimately leads to a more complete development of these deposits' resource potential. However, there are some problems with maintaining proper road conditions for service vehicles with a particularly large payload capacity of 130–220 tons.

Research objective is to assess road conditions at the Olimpiada and Blagodatny mining and processing plants.

Methods of research. The state of haul roads of Olimpiada and Blagodatny mining and processing plants (MPP) was assessed with due regard to the average running speed of dump trucks in order to find rational parameters of road conditions. Field measurements and timing were used as well as statistical processing of data from the system of automated dispatching and accounting for mine dump truck operation at Olimpiada MPP and Blagodatny MPP.

Results. The features of road conditions for service vehicles of the Olimpiada MPP and Blagodatny MPP were established, namely, the seasonal patterns of road conditions and their impact on the average running speed of dump trucks, the dynamics of crushed stone consumption for road construction and maintenance throughout the year, and the non-conformance of the road construction equipment fleet to actual conditions. The features of normative and reference literature application are revealed for calculating the road surface and the structure and quantity of road construction equipment for road maintenance.

Conclusions. Priorities for improving the normative and reference documentation are determined, they include the required clarification of the procedure of calculating the amount of road construction equipment for specific operating conditions with differentiation according to road parameters and freight turnover. For mining enterprises with a significant freight turnover, in addition to the methodology of Approved Code of Practice 37.13330.2012, it is necessary to optimize the road surface design taking technical-economic indicators into account.

Keywords: deep open pit; open-pit roads; dump trucks; productivity; road evenness; Olimpiada MPP; Blagodatny MPP.

REFERENCES

1. Kuznetsov D. V., Kosolapov A. I. The validation of the pit mine technical system parameters for the Olimpiadinskiy gold ore deposit mining. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 4: 5–11. (In Russ.) Available from: doi: 10.21440/0536-1028-2019-4-5-11
2. *Annual reports of JSC Polyus*. URL: <https://polyus.com/ru/investors/disclosure/annual-reports/> [Accessed 27 April 2023]. (In Russ.)
3. Solovyev G. V., Vatchnadze K. I. Improving of performance characteristics during mechanical stabilization of quarry haul roads with stiff polymeric Tensar TriAx hexagonal geogrid. *Procedia Engineering*. 2017; 189: 666–672.
4. Brodnikova S. D., Maslov N. A. Application of system for diagnostics of quarries land surface. *Interekspo Geo-Sibir = Interexpo GEO-Siberia*. 2020; 2: 15–23. (In Russ.) Available from: doi: 10.33764/2618-981X-2020-2-15-23
5. Kuznetsov D. V., Kosolapov A. I. Dynamic of performance of open-pit dump trucks in ore mining in severe climatic environment. *Transportation Research Procedia*. 2022; 63: 1042–1048.
6. Sidiakov V. A., Kolchanov A. G., Stenin Iu. V. *Mine haul roads: design, construction, maintenance*. Moscow: Nedra Publishing; 2011. (In Russ.)
7. Kaufman W. W., Ault J. C. *Design of surface mine haulage roads: a manual*. US Department of the Interior, Bureau of Mines. PA, Pittsburgh: 1978.
8. Williamson O. C. Haul road design for off-highway mining equipment. *World Mining Equipment (United States)*. 1987; 12(3): 24–26.
9. Thompson R. J., Visser A. T. Mine haul road maintenance management systems. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2003; 103(5): 303–312.
10. Lel Iu. I., Stenin Iu. V., Kolchanov A. G. Career highways – their importance and problems of improvement. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011; 3: 103–108. (In Russ.)
11. 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, February 28, 2010*. Phoenix, Arizona, USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 2010. p. 1–10.
12. Thompson R., Peroni R., Visser A. *Mining haul roads: theory and practice (1st ed.)*. CRC Press, 2018. Available from: <https://doi.org/10.1201/9780429491474> [Accessed 27 April 2023].
13. Stenin Iu. V., Mogilat V. L. The features of haul roads consolidation technology. In: *Problems of open-pit transport: Proceedings of Internat. sci. and tech. conf. 3–4 December 2002*. Ekaterinburg: IM UB RAS Publishing; 2002. p. 60–64. (In Russ.)
14. Arefiev S. A. *Assessment and rationale for rational road conditions of mine dump trucks of large payload capacity: PhD in Eng. Diss.* Ekaterinburg; 2015. (In Russ.)
15. Lel Iu. I., Arefiev S. A., Glebov A. V., Ilbuldin D. Kh. The issue of quality assessment of quarry roads. *Izvestia Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta = News of the Ural State Mining University*. 2016; 3(43): 70–73. (In Russ.) Available from: doi: 10.21440/2307-2091-2016-3-70-73
16. Kharkhuta N. Ia., Vasiliev Iu. M. *The strength, stability and consolidation of roadbed ground*. Moscow: Transport Publishing; 1975. (In Russ.)

Received 15 December 2022

Information about the authors:

Artem G. Zhuravlev – PhD (Engineering), Head of the laboratory, Institute of Mining UB RAS. E-mail: juravlev@igduran.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7643-3994>

Vladimir A. Cherepanov – researcher, Institute of Mining UB RAS. E-mail: transport@igduran.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3946-0130>

Viktor A. Karpov – leading mining engineer, JSC Polyus Krasnoyarsk. E-mail: reception@polyus.com

Aleksandr Iu. Nevezhin – PhD (Engineering), senior mining engineer, JSC Polyus Krasnoyarsk. E-mail: nevezhinayu@polyus.com

Для цитирования: Журавлев А. Г., Черепанов В. А., Карпов В. А., Неvezhin А. Ю. Оценка дорожных условий Олимпиадинского и Благодатного ГОКов // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 4. С. 25–37. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-4-25-37

For citation: 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 vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 4: 25–37 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-4-25-37