

Код МРНТИ 52.01.85

А. А. Бояндинова, *Ж. А. Адилханова

Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д. А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан)

МЕТОДОЛОГИЯ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА

Аннотация. В статье представлена методология обоснования выбора и условий эксплуатации карьерного автомобильного транспорта, основанная на применении метода вариантов, имитационного моделирования, системного анализа и технико-экономической оценки. В отличие от существующих подходов она обеспечивает комплексное принятие решений с учетом горнотехнических, технологических, организационных, эксплуатационных, экономических и экологических факторов. Методология учитывает не только технические характеристики самосвалов, но и их фактическое состояние, остаточную стоимость, затраты на техобслуживание и ремонт, а также влияние параметров транспортной сети на итоговые технико-экономические показатели. Ее основным преимуществом является высокая адаптивность к изменению условий эксплуатации и чувствительность к параметрам, определяющим эффективность работы экскаваторно-автомобильного комплекса.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, условия эксплуатации, карьер, методология, эффективность, оптимизация.

Карьерлік автокөліктерді тандау және пайдалану шарттарын негіздеу методологиясы

Андатпа. Мақалада карьерлік автомобиль тасымалының тандау және пайдалану шарттарын негіздеудің методологиясы ұсынылған, ол нұсқалар әдісін, имитациялық модельдеуді, жүйелік талдауды және технико-экономикалық бағалауды қолдануға негізделген. Қолданыстағы тәсілдерден айырмашылығы ол тау-кен техникалық, технологиялық, ұйымдастырушылық, пайдалану, экономикалық және экологиялық факторларды ескере отырып кешенді шешім қабылдауды қамтамасыз етеді. Методология тек қана самосвалдардың техникалық сипаттамаларын емес, сонымен бірге олардың нақты жағдайын, қалдық құнын, техникалық қызмет көрсету және жөндеу шығындарын, сондай-ақ көлік желісінің параметрлерінің соңғы технико-экономикалық көрсеткіштерге әсерін ескереді. Оның негізгі артықшылығы – пайдалану шарттарының өзгеруіне жоғары бейімделгіштік және экскаваторлық-автомобильдік кешеннің жұмыс тиімділігін анықтайтын параметрлерге сезімталдық болып табылады.

Түйінді сөздер: автомобиль көлігі, пайдалану шарттары, карьер, әдістеме, тиімділік, оңтайландыру.

Methodology for substantiation of the selection and operating conditions of open-pit's automobile transport

Abstract. This article presents a methodology for substantiating the selection and operating conditions of open-pit's automobile transport, based on the use of the options method, simulation modeling, systems analysis, and technical and economic assessment. Unlike existing approaches, it enables comprehensive decision-making, taking into account mining, technological, organizational, operational, economic, and environmental factors. The methodology takes into account not only the technical characteristics of trucks but also their actual condition, residual value, maintenance and repair costs, and the impact of transportation network parameters on the final technical and economic indicators. Its main advantage is its high adaptability to changing operating conditions and sensitivity to the parameters determining the performance of the excavator-truck system.

Key words: automobile transport, operating conditions, open-pit, methodology, efficiency, optimization.

Введение

Эффективность открытой разработки месторождений полезных ископаемых во многом определяется рациональной организацией транспортных процессов, в которых карьерный автомобильный транспорт играет ключевую роль. Увеличение глубины карьеров, усложнение горно-геологических и горнотехнических условий, а также повышение требований к эффективности эксплуатации обуславливают необходимость совершенствования методов выбора карьерных самосвалов и обоснования условий их эксплуатации.

Современное развитие систем управления карьерным автотранспортом связано с внедрением методов многокритериального анализа, математической оптимизации и цифрового моделирования для повышения эффективности принятия управленческих решений. Несмотря на существенный вклад рассмотренных исследований в развитие систем управления карьерным автотранспортом, анализ проведенных исследований показывает, что большинство предложенных подходов ориентировано на решение отдельных задач, таких как: выбор оборудования, оптимизация маршрутов, распределение самосвалов или прогнозирование отказов. При этом вопросы комплексного учета взаимосвязи горнотехнических, технологических, эксплуатационных, экономических и экологических факторов при выборе карьерного автотранспорта остаются недостаточно проработанными. В частности, в работах [1–2] основное внимание уделено многокритериальному выбору техники и вариантов разработки месторождений, однако недостаточно учитываются динамические изменения про-

изводственной обстановки, возникающие в процессе эксплуатации карьера. Исследования [3–5], несмотря на применение современных методов оптимизации, в основном ориентированы на решение задач транспортной логистики и требуют значительных вычислительных ресурсов, а также наличия большого объема достоверных оперативных данных, что ограничивает их практическое внедрение на предприятиях с невысоким уровнем цифровизации.

Вместе с тем исследования свидетельствуют о возрастающей роли цифровизации и интеллектуальных технологий в управлении карьерным транспортом [6–7]. Так, работа [6] направлена на прогнозирование технического состояния карьерных самосвалов, однако не рассматривает интеграцию результатов диагностики с алгоритмами оперативного распределения транспортных средств. Кроме того, существующие исследования в недостаточной степени учитывают неопределенность производственной среды, влияние человеческого фактора, случайные отказы оборудования и изменение внешних условий в режиме реального времени.

Таким образом, актуальной остается задача разработки методологии, обеспечивающей комплексное обоснование выбора карьерного автотранспорта и условий его эксплуатации с учетом изменяющихся параметров горных работ, технического состояния оборудования и требований к эффективности транспортного процесса. Предлагаемый подход должен обеспечивать возможность адаптации принимаемых решений к условиям изменяющихся горнотехнических и производственных условий и способствовать повышению производительности транспортной системы,

снижению эксплуатационных затрат и увеличению надежности работы карьерного автотранспорта.

Методы исследования

Методология выбора типа, режима и условий эксплуатации карьерного автомобильного транспорта основана на методе вариантов, предусматривающем формирование и сравнительную оценку альтернативных решений с учетом конкретных горнотехнических и производственных условий разработки месторождения. Данный подход позволяет определить рациональный вариант организации горно-транспортного процесса путем комплексного анализа факторов, влияющих на эффективность экскаваторно-автомобильного комплекса.

Метод выбора базируется на сочетании имитационного моделирования, системного подхода и комплексного метода экономической оценки эффективности работы экскаваторно-автомобильного комплекса [8]. Имитационное моделирование обеспечивает возможность исследования работы транспортной системы при изменении основных параметров горных работ: объемов перевозки, расстояния транспортирования, производительности оборудования, режимов работы и простоев производственной техники. Системный подход позволяет рассматривать экскаваторно-автомобильный комплекс как единую взаимосвязанную систему с учетом взаимодействия горного и транспортного оборудования.

Экономическая оценка предусматривает сравнение вариантов эксплуатации по показателям производительности, эксплуатационных затрат, расхода топлива, затрат на техническое обслуживание и ремонт. Комплексное применение указанных методов обеспечивает учет влияния внутренних и внешних факторов, повышает обоснованность выбора карьерного автотранспорта и позволяет определить рациональные условия его эксплуатации.

Результаты

В разрабатываемой методологии порядок выбора карьерного автотранспорта определяется условиями эксплуатации и может осуществляться в трех случаях: при воспроизводстве производственных мощностей горно-транспортного комплекса, на этапе реконструкции карьера с переоснащением или при строительстве нового карьера.

При воспроизводстве производственных мощностей основной задачей является не выбор нового типа или модели техники, а обоснование замены устаревших автосамосвалов. Данная замена может предусматривать как приобретение новой единицы техники, так и замену на оборудование с меньшим сроком эксплуатации при условии обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик. Ключевым аспектом данного метода является объективная оценка фактического технического состояния оборудования, основанная на учете затрат на техническое обслуживание и ремонт, а также оценке коэффициента полезного действия двигателя, определяемых по методике предложенной и апробированной в работах [9–10]. Решение о замене техники принимается на основе методики управления процессом воспроизводства производственных мощностей горно-транспортных систем карье-

ров, предусматривающей применение дифференциальной компьютерной диагностики технического состояния оборудования с использованием информационного программно-методического комплекса имитационного моделирования [8].

Среднестатистические значения КПД трансмиссии автосамосвалов (например, БелАЗ-7512) принимаются с учетом срока эксплуатации, возраста и наработки техники по установленным зависимостям или расчетным данным [9].

В процессе технико-экономического анализа состояния парка машин определяются основные характеристики оборудования: коэффициент полезного действия автосамосвала, эксплуатационные и капитальные затраты, а также необходимое для приобретения количество техники. Полученные параметры используются в качестве исходных данных для моделирования работы горно-транспортной системы и оценки вариантов ее развития.

Определение условий эксплуатации карьерных автосамосвалов основывается на учете комплекса внутренних и внешних факторов, оказывающих влияние на эффективность работы отдельных машин и транспортного комплекса в целом. В качестве внутренних условий эксплуатации рассматриваются параметры организации транспорта и состояние технологических дорог. Учет внешних условий эксплуатации имеет принципиальное значение, поскольку позволяет оценить соответствие выбранного оборудования конкретным параметрам горного предприятия уже на этапе его приобретения.

При учете организации транспорта формируются данные о структуре и геометрии автотрассы (однополосная или двухполосная, уклон дороги по участкам трассы), маршрутах автосамосвалов, вводятся скоростные ограничения, практикуемые на данном карьере в грузовом и порожняковом направлениях, вводится величина интервала движения по условиям безопасности движения машин, устанавливаются породопотоки, за которыми закрепляются те или иные маршруты, фиксируется принятая организация взаимодействия основного горного и транспортного оборудования и другие организационные меры, имеющие существенное влияние на эффективность работы горно-транспортного комплекса в целом. В структуре трассы выделяются технологически специализированные и имеющие геометрические особенности участки (площадки примыкания, призабойные, в пунктах разгрузки, площадки для пересменки и т. д.)

Величина остаточной стоимости машины так же, как и величина КПД трансмиссии, учитывает в себе и затраты на ремонты за весь период эксплуатации, поэтому учет данного фактора имеет принципиальное значение в разработанном методе управления процессом воспроизводства горно-транспортных систем карьеров [9].

По учету параметра «состояние технологических дорог» в случае замены устаревшего оборудования покрытие по качеству принимается существующее, однако могут быть проработаны и варианты с частичной или полной заменой покрытия дорог. Качественные характеристики дорожного полотна выражаются традиционно через величину удельного сопротивления качению.

Выбор скорости движения автосамосвала базируется на тяговых характеристиках автосамосвалов и алгоритме воспроизводства на модели машин процесса учета и расчета скоростей в зависимости от степени загрузки, направления (порожнее или грузовое) движения, скоростных ограничений, технического состояния, качества покрытия, уклона и структуры дорог. При оптимизации варьируются только скоростные ограничения при движении автосамосвала при постоянных прочих параметрах и организации.

Выбор режима загрузки автосамосвала практически идентичен, однако основной переменной является полезная масса автосамосвала. При этом учитываются физико-механические характеристики транспортируемых пород – плотность, коэффициент разрыхления и коэффициент наполнения кузова. В рамках этой процедуры могут быть рассмотрены варианты модифицированных автосамосвалов путем наращивания бортов кузова. На этапах реконструкции и строительства карьеров возможны проработки вариантов исполнения машин на заказ с измененными габаритами, что может позволить работать на более низких горизонтах с зауженными транспортными бермами и тем самым увеличить срок эксплуатации месторождений и снижение объемов вскрыши.

Расчет расхода топлива осуществляется на основе сменных показателей по автосамосвалам, полученных в результате моделирования, в базе выходных данных в автоматизированном режиме производится расчет общего и удельного показателей объемов расхода топлива, что позволяет использовать эти показатели в качестве вспомогательных критериев эффективности работы автосамосвалов в отдельности и парка машин в целом, а также учитывать затраты на топливо при подсчете удельных и общих текущих затрат по горно-транспортному комплексу. Сменный расход топлива по каждой машине определяется непосредственно в процессе имитационного моделирования согласно алгоритму расчета скоростей движения автосамосвалов исходя из их тяговых характеристик, режима и условий эксплуатации.

Учет параметра расхода шин процедурно практически аналогичен, однако в этом случае используются известные нормы расхода шин в зависимости от наработки машин за смену и стоимостные показатели самих шин. Сменная наработка машин определяется суммарных пробегом автосамосвала, который устанавливается по результатам имитационного моделирования.

Одним из важных элементов в современных условиях и исходя из требований политики устойчивого развития, является учет степени загазованности и запыленности в карьерном пространстве от рекомендуемого к эксплуатации автосамосвала. Поэтому осуществляется расчет экологических выбросов при рассмотрении вариантов на основе используемых норм запыления и загрязнения от организованных источников, каковыми являются автосамосвалы. Объем выбросов в атмосферу устанавливается по объему транспортных работ, скоростей движения транспортных средств, качества покрытия, объема и качества принимаемых мер на улучшение экологической обстановки в карьерном пространстве. Зная современные нормы отчисления за экологию и объем затрат на реализацию экологических

мероприятий, устанавливается объем затрат общих и удельных затрат на экологию, которые также учитываются при расчете себестоимости горно-транспортных работ. Помимо этого, зная нормы загрязнения в карьерном пространстве и срок на восстановление экологической ситуации, рассчитывается количество рабочих дней в рассматриваемом периоде, что отражается на производительности горно-транспортного комплекса за рассматриваемый период. Таким образом, в процессе обоснования выбора типов и моделей машин учитывается существенный экологический фактор.

Все рассмотренные процедуры не являются изолированными этапами, а реализуются во взаимосвязи с учетом конкретных условий эксплуатации и результатов анализа, полученных на каждом этапе исследования. Последовательность их выполнения определяется текущей производственной ситуацией и направлена на формирование оптимального варианта функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса. Итоговыми параметрами являются значения характеристик оборудования и условий его эксплуатации, соответствующие достижению общего критерия оптимальности – минимальной себестоимости горно-транспортных работ при обеспечении требуемой производительности комплекса.

Оптимальный вариант подвергается технико-экономическому анализу для выявления резервов повышения производительности горно-транспортного комплекса и снижения себестоимости его работы. При этом оцениваются загрузка и энергоемкость участков внутрикарьерных дорог, показатели эксплуатации каждого транспортного средства, а также причины простоев и неэффективного использования основного горного и транспортного оборудования. При выявлении ограничений в работе системы принимаются меры по их устранению или уменьшению степени их влияния на эффективность работы технологического комплекса, корректируются параметры модели, после чего выполняется повторная оценка эффективности комплекса.

При окончательном варианте, на последнем уровне рассмотрения варианта по первому этапу обоснования выбора транспортных средств, определяется экономический эффект в виде разницы в себестоимости горно-транспортных работ.

При обосновании выбора оборудования на втором этапе анализа и оценки эффективности работы экскаваторно-автомобильного комплекса важным моментом является учет затрат на сервисное обслуживание автосамосвалов. Так как эта цифра по каждому типу и модели автосамосвалов разная, то это естественно должно быть отражено в системе обоснования принятия решения. В данном случае, для установления затрат на сервисное обслуживание, рекомендуется пользоваться подходом, предложенным в работе [11]. Авторы предлагают это делать исходя из установленной зависимости между степенью и затратами на сервисное обслуживание автосамосвала за период. К примеру, согласно принятому при довольно хорошем уровне обслуживания 82% (для подшипников) общие затраты на приобретение, хранение запчастей и в связи с простоями от их отсутствия составляют около 4400 долл. США. При высоком уровне обслуживания (99,99%) стоимость возрастает почти в 3 раза. Так как каждый из типов и

моделей автосамосвалов имеет свою зависимость времени простоя машины от выхода из строя машинных узлов, то в процессе обоснования необходимо просчитывать общие затраты по каждому из видов и моделей автосамосвала за рассматриваемый период и далее вычитать эти затраты из предполагаемого дохода.

Расчет экономической эффективности вариантов выполняется двумя способами по обновленной методике, представленной в работе [8]. Первый способ предусматривает оценку результатов в пределах рассматриваемого года при заданной производительности горно-транспортного комплекса. В качестве исходных данных используются результаты имитационного моделирования, включая удельные эксплуатационные затраты, годовой объем добычи горной массы, расходы на приобретение шин, коэффициент вскрыши, цену товарной продукции, выход полезного компонента и плотность горной массы.

Во втором случае основным показателем является плановый показатель, демонстрирующий необходимый объем извлекаемой горной массы, который необходимо выполнить с наименьшими затратами. В рамках этого этапа производительность горно-транспортного комплекса за рассматриваемый период формируется на базе сменного показателя, полученного в процессе имитационного моделирования. Способ приведения сменного показателя к аналогичному показателю за период достаточно хорошо апробирован в работе [12]. Он обеспечивает высокой степени чувствительность основного критериального показателя эффективности работы экскаваторно-автомобильного комплекса в рассматриваемом периоде к влиянию всех существенных факторов, определяющих выбор карьерного транспортного оборудования, таких как техническое состояние машины, емкость ковша, скорость передвижения, расход топлива, численность машин в технологическом комплексе, режимы и условия их эксплуатации.

Такой подход позволяет оценить не только изменение себестоимости горно-транспортных работ, но и влияние принятых решений на экономические результаты предприятия и потенциальный доход от реализации продукции.

Обсуждение результатов

Полученные результаты подтверждают, что эффективный выбор карьерного автотранспорта возможен только при комплексном учете технических, технологических, эксплуатационных и экономических факторов. В отличие от исследований, в которых рассматриваются отдельные задачи, такие как: выбор оборудования, оптимизация параметров, мониторинг технологического процесса или прогнозирование технического состояния машин, предложенная методология объединяет эти аспекты в рамках единого подхода к обоснованию выбора техники и условий ее эксплуатации.

Использование метода вариантов в сочетании с имитационным моделированием позволяет рассматривать экскаваторно-автомобильный комплекс как единую взаимосвязанную производственную систему, эффективность которой определяется взаимодействием горного и транспортного оборудования, параметров транспортной сети, организации технологических процессов и условий экс-

плуатации техники. Такой подход исключает локальную оптимизацию отдельных элементов и обеспечивает согласованность принимаемых решений на уровне всего технологического комплекса.

Сравнение альтернативных вариантов эксплуатации выполняется с учетом производительности оборудования, эксплуатационных затрат, расхода топлива, затрат на техническое обслуживание и ремонт, а также других технико-экономических показателей, определяющих целесообразность применения выбранного варианта. Это позволяет выявлять резервы повышения производительности и снижения себестоимости горно-транспортных работ без увеличения количества техники. Вместе с тем эффективность предложенной методологии зависит от полноты и достоверности исходных данных, что определяет перспективность ее дальнейшего развития за счет интеграции цифрового мониторинга, предиктивной аналитики и интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Заключение

Разработанная методология обоснования выбора и условий эксплуатации карьерного автотранспорта представляет собой комплексный подход, объединяющий методы имитационного моделирования, системного анализа и технико-экономической оценки. В отличие от существующих решений предложенная методология обеспечивает согласованное принятие решений с учетом горнотехнических, технологических, организационных, эксплуатационных и экономических факторов.

Основным преимуществом разработанного подхода является его высокая адаптивность к изменению условий эксплуатации и чувствительность к параметрам, определяющим эффективность работы экскаваторно-автомобильного комплекса. Методология позволяет учитывать не только технические характеристики карьерных самосвалов, но и их фактическое техническое состояние, остаточную стоимость, затраты на техническое обслуживание и ремонт, а также влияние параметров транспортной сети и организации перевозок на конечные технико-экономические показатели.

Предлагаемый подход может быть использован при проектировании, реконструкции и эксплуатации карьеров, а также при обосновании выбора новых транспортных средств или модернизации существующего парка техники. Применение разработанной методологии обеспечивает повышение обоснованности принимаемых решений, адаптацию режима эксплуатации карьерного автотранспорта к конкретным условиям производства и создает основу для дальнейшей интеграции цифровых технологий и интеллектуальных систем поддержки принятия решений в процессы управления горно-транспортными комплексами.

Благодарность

Данная статья финансировалась Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан по ПЦФ BR23991563 «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методология проектирования многокритериальной системы для выбора самосвалов для открытых карьеров / A. Rakhmangulov [и др.] // *Sustainability*. – 2024. – Т. 16. – Ст. 863 (на английском языке)
2. Выбор оптимального варианта эксплуатации с использованием цифровой модели месторождения и метода аналитической иерархии / E. J. Sobczyk [и др.] // *Resources Policy*. – 2022. – Т. 78. – Ст. 102952 (на английском языке)
3. Интегрированная архитектура для оптимизации распределения грузовиков по фиксированным позициям на открытых рудниках: синергетическая оптимизация, гибридное моделирование и многоцелевая оптимизация / Hongyang Xu [и др.] // *Applied Energy*. – 2026. – Т. 404. – Ст. 127170 (на английском языке)
4. Ali Moradi Afrapoli, Mohammad Tabesh, Hooman Askari-Nasab. Многоцелевой подход к решению транспортной задачи с учетом динамического распределения грузовых автомобилей на открытых разработках // *European Journal of Operational Research*. – 2019. – Т. 276. – Вып. 1. – С. 331–342 (на английском языке)
5. Методология решения задач распределения грузовых автомобилей с учетом динамических условий в карьерах: пример медного рудника Сунгун / A. Moniri-Morad [и др.] // *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*. – 2019. – С. 57–65 (на английском языке)
6. Сетевая платформа автоматизации прогнозирования отказов карьерных самосвалов / И. В. Зырянов [и др.] // *Горная промышленность*. – 2024. – № 3. – С. 56–63 (на русском языке)
7. Aquino E. D. R., Girao Sotomayor J. M., Navarro-Torres V. F. Уточнение геотехнических параметров с помощью 3D-геотехнического моделирования для повышения надежности планирования горных работ // *Mining Technology Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*. – 2024. – Т. 133. – Вып. 1. – С. 74–85 (на английском языке)
8. Бояндинова А. А., Адилханова Ж. А. Научно-методическое обеспечение геоинформационных систем технологического менеджмента на карьерах: монография. – Алматы, 2020. – 210 с. (на русском языке)
9. Бояндинова А. А. Разработка метода оперативного планирования и управления процессом воспроизводства мощностей горно-транспортных систем карьеров: дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 2002. – 165 с. (на русском языке)
10. Бояндинова А. А., Адилханова Ж. А. Совершенствование информационно-аналитического обеспечения управления воспроизводством мощностей горно-транспортных комплексов карьеров // *Горный журнал Казахстана*. – 2026. – № 6 (254). – С. 11–16 (на русском языке)
11. Гордон Д. М., Квитка В. В. Система управления предприятиями горной промышленности // *Горный журнал*. – 2005. – № 3. – С. 28–31 (на русском языке)
12. Адилханова Ж. А. Разработка методического обеспечения корпоративного оперативного планирования горно-транспортных работ при управлении геотехнологическими комплексами: дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 2009. – 118 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ашық карьерлер үшін самосвалдарды таңдау мақсатындағы көпкритериалды жүйені жобалау әдістеме / A. Rakhmangulov [және т. б.] // *Sustainability*. – 2024. – Т. 16. – 863 (ағылшын тілінде)
2. Sobczyk E. J., Galica D., Korasz M., Sobczyk W. Цифрлық кен орны моделін және аналитикалық иерархия әдісін пайдалана отырып, пайдалану үшін оңтайлы нұсқаны таңдау // *Resources Policy*. – 2022. – Т. 78. – 102952 (ағылшын тілінде)
3. Ашық кен орындарында жүк көліктерін белгілі позицияларға бөліп орналастыруды оңтайландыруға арналған интеграцияланған архитектура: синергетикалық оңтайландыру, гибридік модельдеу және көпмақсатты оңтайландыру / Hongyang Xu [және т. б.] // *Applied Energy*. – 2026. – Т. 404. – 127170 (ағылшын тілінде)
4. Ali Moradi Afrapoli, Mohammad Tabesh, Hooman Askari-Nasab. Жүк көліктерін ашық кен орындарында динамикалық таралуын ескере отырып, көлік мәселесін шешуге арналған көпмақсатты тәсіл // *European Journal of Operational Research*. – 2019. – Т. 276. – Шығ. 1. – Б. 331–342 (ағылшын тілінде)
5. Шоқжарлардағы динамикалық жағдайларды ескере отырып, жүк көліктерін бөлу мәселелерін шешу әдістемесі: Сунгун мыс кенішінің мысалы / A. Moniri-Morad [және т. б.] // *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*. – 2019. – Б. 57–65 (на английском языке)
6. Карьерлік самосвалдардың ақауларын болжауды автоматтандыру желілік платформасы / Зырянов И. В. [және т. б.] // *Тау-кен өнеркәсібі*. – 2024. – № 3. – Б. 56–63 (орыс тілінде)
7. Aquino E. D. R., Girao Sotomayor J. M., Navarro-Torres V. F. Тау-кен жұмыстарын жоспарлаудың сенімділігін арттыру үшін 3D геотехникалық модельдеу арқылы геотехникалық параметрлерді

- нақтылау // *Mining Technology Transactions of the institutions of Mining and Metallurgy*. – 2024. – Т. 133. – Шығ. 1. – Б. 74–85 (ағылшын тілінде)
8. Бояндинова А. А., Әділханова Ж. А. Карьерлердегі технологиялық менеджменттің геоақпараттық жүйелерін ғылыми-әдістемелік қамтамасыз ету: монография. – Алматы, 2020. – 210 б. (орыс тілінде)
 9. Бояндинова А. А. Карьерлердің тау-кен көлік жүйелері қуаттарының ұдайы өндірісі процесін жедел жоспарлау және басқару әдісін әзірлеу: техн. ғыл. канд. ... дис. – Алматы, 2002. – 165 б. (орыс тілінде)
 10. Бояндинова А. А., Әділханова Ж. Ә. Карьерлердің тау-кен-көлік кешендерінің қуаттарын басқаруды ақпараттық қамтамасыз етуді жетілдіру // *Қазақстанның кен журналы*. – 2026. – № 6 (254). – Б.11–16 (орыс тілінде)
 11. Гордон Д. М., Квитка В. В. Тау-кен өнеркәсібі кәсіпорындарын басқару жүйесі // *Кен журналы*. – 2005. – № 3. – Б. 28–31 (орыс тілінде)
 12. Әділханова Ж. Ә. Геотехнологиялық кешендерді басқару кезінде тау-кен көлік жұмыстарын корпоративтік жедел жоспарлауды әдістемелік қамтамасыз етуді әзірлеу: техн. ғыл. канд. ... дис. – Алматы, 2009. – 118 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Multi-Criteria System's Design Methodology for Selecting Open Pits Dump Trucks / A. Rakhmangulov et al. // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16. – Article 863 (in English)
2. Selecting the optimal exploitation option using a digital deposit model and the AHP / E. J. Sobczyk et al. // *Resources Policy*. – 2022. – Vol. 78. – Article 102952 (in English)
3. An integrated architecture for fixed truck assignment optimization in open-pit mines: Synergistic optimization, hybrid modeling, and multi-objective optimization / Hongyang Xu et al. // *Applied Energy*. – 2026. – Vol. 404. – Article 127170 (in English)
4. Ali Moradi Afrapoli, Mohammad Tabesh, Hooman Askari-Nasab. A multiple objective transportation problem approach to dynamic truck dispatching in surface mines // *European Journal of Operational Research*. – 2019. – Vol. 276. – Issue 1. – P. 331–342 (in English)
5. Methodology for Truck Allocation Problems Considering Dynamic Circumstances in Open Pit Mines, case study of the Sungun copper mine / A. Moniri-Morad et al. // *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*. – 2019. – P. 57–65 (in English)
6. Setevaiia platforma avtomatizatsii prognozirovaniia otkazov kar'ernykh samosvalov [Network platform for automation of failure prediction of quarry dump trucks] I. V. Zyryanov et al. *Gornaja promyshlennost'* [Mining industry]. – 2024. – No. 3. – P. 56–63 (in Russian)
7. Aquino E. D. R., Girao Sotomayor J. M., Navarro-Torres V. F. Qualification of geotechnical parameters with 3D geotechnical modelling to improve mine planning reliability // *Mining Technology Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*. – 2024. – Vol. 133. – Issue 1. – P. 74–85 (in English)
8. Boyandinova, A.A., Adilkhanova, Zh.A. Nauchno-metodicheskoe obespechenie geoinformatsionnykh sistem tekhnologicheskogo menedzhmenta na kar'erakh [Scientific and Methodological Support of Geoinformation Systems for Technological Management at Open-Pit Mines]. Monograph. Almaty, 2020. 210 p. (in Russian)
9. Boyandinova, A.A. Razrabotka metoda operativnogo planirovaniia i upravleniia protsessom vosproizvodstva moshchnosti gorno-transportnykh sistem kar'erov [Development of a Method for Operational Planning and Management of the Reproduction Process of Mining and Transport System Capacities of Open-Pit Mines]: dis. ... Cand. Tech. Sci. Almaty, 2002. 165 p. (in Russian)
10. Boyandinova A. A., Adilkhanova Zh. A. Sovershenstvovanie informatsionno-analiticheskogo obespecheniia upravleniia vosproizvodstvom moshchnosti gorno-transportnykh kompleksov kar'erov [Improving Information and Analytical Support for Managing the Reproduction of Capacities of Mining and Transport Complexes of Open-Pit Mines]. *Gornyi Zhurnal Kazakhstana* [Mining Journal of Kazakhstan]. – 2026. – No. 6 (254). – P. 11–16 (in Russian)
11. Gordon D. M., Kvitka V. V. Sistema upravleniia predpriiatiiami gornoj promyshlennosti [Management System of Mining Industry Enterprises]. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal]. – 2005. – No. 3. – P. 28–31 (in Russian)
12. Adilkhanova Zh. A. Razrabotka metodicheskogo obespecheniia korporativnogo operativnogo planirovaniia gorno-transportnykh rabot pri upravlenii geotekhnologicheskimi kompleksami [Development of Methodological Support for Corporate Operational Planning of Mining and Transport Operations in the Management of Geotechnological Complexes]: dis. ... Cand. Tech. Sci. – Almaty, 2009. – 118 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Бояндинова А. А., д. т. н., доцент, ученый секретарь Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д. А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан), A.Boyandinova@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5197-4599>

Адилханова Ж. А., к. т. н., гл. научный сотрудник Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д. А. Кунаева» (г. Алматы, Казахстан), Zhanna_mark10@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2637-4006>

Авторлар туралы мәліметтер:

Бояндинова Ә. Ә., т. ғ. д., доцент, «ҚР ҰК МҚК» РМК «Д. А. Қонаев атындағы Тау-кен институты» филиалының ғылыми хатшысы (Алматы қ., Қазақстан)

Әділханова Ж. А., т. ғ. к., «ҚР ҰК МҚК» РМК «Д. А. Қонаев атындағы Тау-кен институты» филиалының бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Boyandinova A. A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific Secretary of the «Institute of Mining named after D. A. Kunayev» Branch of the «NC CPMS RK» RSE (Almaty, Kazakhstan)

Adilkhanova Zh. A., Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher of the «Institute of Mining named after D. A. Kunayev» Branch of the «NC CPMS RK» RSE (Almaty q., Kazakhstan)



ГОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РОССИЯ

www.techmining.ru

8-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

**СТРОИТЕЛЬСТВО, МОДЕРНИЗАЦИЯ И
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

15 сентября
2026

Москва

Swissôtel Красные Холмы Москва

