

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

**Главный редактор**

КАНТОВИЧ Л.И., д. т. н., проф.

**Зам. гл. редактора:**

ИВАНОВ С.Л., д. т. н., проф.

ЛАГУНОВА Ю.А., д. т. н., проф.

**Редакционный совет:**

КОЗОВОЙ Г.И., д. т. н.

(сопредседатель)

ТРУБЕЦКОЙ К.Н., акад. РАН, д.т.н.

(сопредседатель)

АНТОНОВ Б.И.

ГАЛКИН В.А., д.т.н.

КОЗЯРУК А.Е., д.т.н., проф.

КОСАРЕВ Н.П., д.т.н., проф.

МЕРЗЛЯКОВ В.Г., д.т.н., проф.

НЕСТЕРОВ В.И., д.т.н., проф.

ЧЕРВЯКОВ С.А., к.т.н.

**Редакционная коллегия:**

АБРАМОВИЧ Б.Н., д. т. н., проф.

АНДРЕЕВА Л.И., д.т.н.

ГАЛКИН В.И., д.т.н., проф.

ГЛЕБОВ А.В., к.т.н.

ЕГОРОВ А.Н. (Белоруссия)

ЖАБИН А.Б., д.т.н., проф.

ЗЫРЯНОВ И.В., д.т.н.

МУХОРТИКОВ С.Г., д.т.н., проф.

МЫШЛЯЕВ Б.К., д.т.н., проф.

ПЕВЗNER Л.Д., д.т.н., проф.

ПЛЮТОВ Ю.А., к.т.н., доц.

ПОДЭРНИ Р.Ю., д.т.н., проф.

САМОЛАЗОВ А.В.

СЕМЕНОВ В.В., к.т.н.

СТАДНИК Н.И. (Украина), д. т. н., проф.

ТРИФАНОВ Г.Д., д.т.н., доц.

ХАЗАНОВИЧ Г.Ш., д.т.н., проф.

ХОРЕШОК А.А., д.т.н., проф.

ЮНГМЕЙСТЕР Д.А., д.т.н., проф.

**Редакция:**

БЕЛЯНКИНА О.В.

ДАНИЛИНА И.С.

**Телефон редакции:**

(499) 269-53-97

**Факс:** (499) 269-55-10

**Email:** gma@novtex.ru

**http://novtex.ru/gormash**

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРЕДСТАВЛЯЕМ ОРГАНИЗАЦИЮ

**Корнилков С. В., Глебов А. В.** Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук . . . . . 3

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

**Глебов А. В., Репин Л. А.** Цена владения — критерий выбора горного оборудования (на примере тяжелых экскаваторов) . . . . . 10

### ГОРНЫЙ ТРАНСПОРТ

**Гайсёнок И. В., Дюжев А. А., Кочетов С. И., Мариев П. Л., Тарасов П. И., Харитончик С. В.** Применение многозвенных автопоездов в горно-добывающей промышленности . . . . . 14

**Глебов А. В., Лель Ю. И., Глебов И. А.** Перспективный сборочный транспорт открытых горных работ . . . . . 18

**Зырянов И. В., Решетников С. В.** К вопросу о выборе вида карьерных автосамосвалов для кимберлитовых карьеров Якутии . . . . . 22

**Тарасов П. И., Журавлев А. Г., Черепанов В. А., Исаков М. В., Баланчук В. Р., Акишев А. Н., Бабаскин С. Л.** Проблемы магистрального транспортирования руды от удаленных кимберлитовых месторождений . . . . . 25

**Яковлев В. Л., Черепанов В. А.** Предложение по применению транспорта с троллейным питанием на Ново-Учалинском месторождении . . . . . 32

### БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

**Реготунов А. С.** К вопросу о разработке рациональных параметров инструмента штыревого типа и его воздействия на породу при бурении взрывных скважин . . . . . 37

**Шеменин В. Г., Глебов А. В., Синицын В. А., Ткачев В. Б.** Смесительно-зарядные машины для изготовления и зарядания эмульсионных ВВ на карьерах Урала . . . . . 42

**Сухов Р. И., Болкисев В. С., Реготунов А. С.** Выбор направлений совершенствования отечественной буровой техники для проходки взрывных скважин . . . . . 46

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

**Editor-in-Chief**

KANTOVICH L.I., Dr. Sci. (Tech.)

**Deputy Editor-in-Chief:**

IVANOV S.L., Dr. Sci. (Tech.)  
LAGUNOVA Yu.A., Dr. Sci. (Tech.)

**Editorial Council:**

KOZOVY G.I. (co-chairman), Dr. Sci. (Tech.)  
TRUBETSKOY K.N. (co-chairman),  
Dr. Sci. (Tech.), Acad. RAS  
ANTONOV B.I.  
GALKIN V.A., Dr. Sci. (Tech.)  
KOZYARUK A.E., Dr. Sci. (Tech.)  
KOSAREV N.P., Dr. Sci. (Tech.)  
MERZLYAKOV V.G., Dr. Sci. (Tech.)  
NESTEROV V.I., Dr. Sci. (Tech.)  
CHERVYAKOV S.A., Cand. Sci. (Tech.)

**Editorial Board Members:**

ABRAMOVICH B.N., Dr. Sci. (Tech.)  
ANDREEVA L.I., Dr. Sci. (Tech.)  
GALKIN V.I., Dr. Sci. (Tech.)  
GLEBOV A.V., Cand. Sci. (Tech.)  
EGOROV A.N. (Belarus)  
ZHABIN A.B., Dr. Sci. (Tech.)  
ZYRYANOV I.V., Dr. Sci. (Tech.)  
MUKHORTIKOV S.G., Dr. Sci. (Tech.)  
MYSHLYAEV B.K., Dr. Sci. (Tech.)  
PEVZNER L.D., Dr. Sci. (Tech.)  
PLYUTOV Yu.A., Cand. Sci. (Tech.)  
PODERNI R.Yu., Dr. Sci. (Tech.)  
SAMOLAZOV A.V.  
SEMENOV V.V., Cand. Sci. (Tech.)  
STADNIK N.I. (Ukraine), Dr. Sci. (Tech.)  
TRIFANOV G.D., Dr. Sci. (Tech.)  
KHAZANOVICH G.Sh., Dr. Sci. (Tech.)  
KHORESHOK A.A., Dr. Sci. (Tech.)  
YUNGMEYSTER D.A., Dr. Sci. (Tech.)

**Editorial Staff:**

BELYANKINA O.V.  
DANILINA I.S.

CONTENTS

REPRESENT AN ORGANIZATION

**Kornilov S. V., Glebov A. V.** The Institute of Mining the Ural Branch of Russian Academy of Sciences . . . . . 3

GENERAL QUESTIONS

**Glebov A. V., Repin L. A.** Price Tenure — Selection Criteria Mining Equipment (for Example Heavy Excavators) . . . . . 10

MINING TRANSPORT

**Gaysyenok I. V., Dyuzhev A. A., Kochetov S. I., Mariev P. L., Tarasov P. I., Kharitonchik S. V.** The Usage of Multilink Trucks in Mining Industry . . . . . 14

**Glebov A. V., Lel Yu. I., Glebov I. A.** Prospective Assembly Transport of Surface Mining Operations . . . . . 18

**Zyryanov I. V., Reshetnikov S. V.** To the Issue of Selecting the Type of Mine Dump Trucks for Kimberlite Open Pits of Yakytia . . . . . 22

**Tarasov P. I., Juravlev A. G., Cherepanov V. A., Isakov M. V., Balanchuk V. R., Akishev A. N., Babaskin S. L.** Mainline Ore Transportation Problems on the Remote Kimberlite Fields . . . . . 25

**Yakovlev V. L., Cherepanov V. A.** Recommendation for Using of Transport with Trolley Power Supply on the Deposit Novo-Uchalinsky . . . . . 32

DRILLING AND BLASTING OPERATIONS

**Regotunov A. S.** On the Development of Rational Parameters of the Tool Pin Type and its Impact on the Rock During the Drilling of Blast Holes . . . . . 37

**Shemenev V. G., Glebov A. V., Sinitzin V. A., Tkachev V. B.** Mixing-Charging Machines for Making and Charging Emulsion Blasting Agents in the Ural Open Pits . . . . . 42

**Sukhov R. I., Bolkisev V. S., Regotunov A. S.** Selection Improvement of Domestic Drilling Technique for Drilling Blast Holes . . . . . 46

Information about the journal is available online at:  
<http://novtex.ru/gormash.html>, e-mail: [gma@novtex.ru](mailto:gma@novtex.ru)

# ПРЕДСТАВЛЯЕМ ОРГАНИЗАЦИЮ

## REPRESENT AN ORGANIZATION

---

УДК 622.001.89

**С. В. Корнилков**, д-р техн. наук, проф., директор,  
**А. В. Глебов**, канд. техн. наук, зам. директора по научным вопросам,  
ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

E-mail: kornilkov@igduran.ru, glebov@igduran.ru

## Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

---

*Раскрыты краткая история возникновения института, основные этапы его развития, а также некоторые результаты научной и инновационной деятельности. Охарактеризованы некоторые достижения фундаментальных и прикладных исследований.*

**Ключевые слова:** Институт горного дела УрО РАН, горно-металлургический комплекс, минерально-сырьевая база, стратегия, инновационное развитие, прикладные и фундаментальные исследования.

S. V. Kornilkov, A. V. Glebov

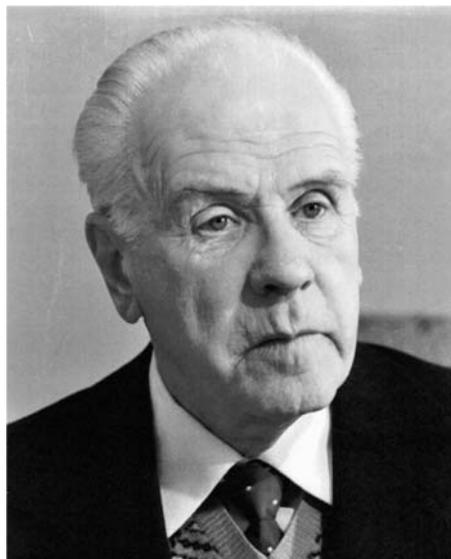
## The Institute of Mining the Ural Branch of Russian Academy of Sciences

---

*The light is thrown on the brief history of the institute's origin, basic stages of its progress as well as on principle results of scientific and innovative activity. Basic results of fundamental and applied researches and achievements are characterized.*

**Keywords:** the Institute of Mining UB RAS, mining and metallurgical complex, mineral raw material base, strategy, innovative progress, applied and fundamental researches.

**И**нститут горного дела УрО РАН (ИГД УФАН СССР, ИГД МЧМ СССР) как самостоятельная научная организация был образован в феврале 1962 г. Постановлением Совета Министров РСФСР и приказом Государственного комитета Совмина РСФСР в результате разделения Горно-геологического института УФАН СССР. В 1963 г. ИГД УФАН СССР в результате проводимых в стране реформ в числе ряда других научных институтов был выведен из состава АН СССР и передан в подчинение Государственному комитету по черной и цветной металлургии, а затем в ведение Министерства черной металлургии СССР. Директором ИГД МЧМ СССР был утвержден М. В. Васильев — Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, который в течение 24 лет формировал основные научные направления и кадровую политику института.



М. В. Васильев — первый директор института

Под руководством М. В. Васильева институт стал центральным и в качестве головного выполнял функции ведущего в отрасли по научным направлениям: технология и комплексная механизация добычи железных и хромовых руд открытым способом; карьерный транспорт; технология и механизация буровзрывных работ; защита земельных

ресурсов, природных объектов и сооружений, рекультивация земель; электрооборудование и электроснабжение карьеров.

Перед институтом были поставлены и успешно решались задачи совершенствования существующих и изыскания новых, более прогрессивных технологий добычи полезных ископаемых открытым и подземным способами на достигнутых и более глубоких горизонтах, а также в условиях новых разведанных месторождений; совершенствования и дальнейшего развития комплексной механизации и автоматизации производственных процессов в горной промышленности; изучения способов разрушения руд, углей и пород при разработке месторождений полезных ископаемых на основе новейших достижений физики, химии, механики; управления горным давлением и сдвижением горных пород; обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий труда горнорабочих по газовому, тепловому и пылевому факторам в рудниках, шахтах и карьерах.

В процессе решения отраслевых задач в 1960-е гг. в институте сложились научные школы: карьерного транспорта, созданная М. В. Васильевым и В. Л. Яковлевым, Уральская школа геомехаников, созданная Н. П. Влохом и А. Д. Сашуриным, школа по управлению качеством руды, созданная П. П. Бастаном.

Школа карьерного транспорта стала наиболее мощным научным центром в стране по проблемам транспортирования горной массы на открытых горных работах. Проведены испытания почти всех новых отечественных и импортных автосамосвалов грузоподъемностью от 30 до 180 т на ряде крупных предприятий страны (рис. 1). Учеными внесен весомый вклад в создание научных основ циклично-поточной технологии разработки скальных руд и пород. Выполнен большой объем фундаментальных исследований по теоретическому обоснованию новых поколений более производительной горно-транспортной техники. Решен комплекс задач, связанных с внедрением на карьерах и разрезах уклонов железнодорожных путей 60 ‰. Изучаются вопросы по повышению надежности и эффективности систем энергообеспечения и электрооборудования горных предприятий. Одним из главных научных направлений школы является разработка научных основ и методов оптимизации карьерного транспорта действующих и проектируемых горно-обогатительных комбинатов, установление закономерностей формирования карьерного про-



Рис. 1. Карьерный автосамосвал БелАЗ-7521 грузоподъемностью 180 т, изготовленный по технико-экономическому обоснованию ИГД

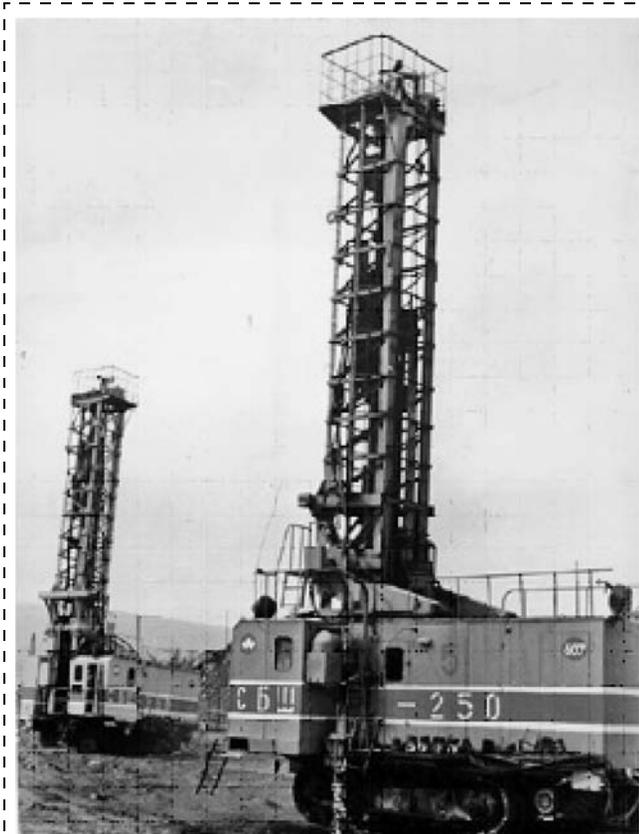


Рис. 2. Буровой станок СБШ-250, разработанный по технико-экономическому обоснованию и техническому заданию ИГД

странства во взаимосвязи с развитием схем вскрытия и транспортных систем глубоких карьеров.

Значительных успехов институт достиг в решении проблем бурения скважин. Установлены основные закономерности разрушения при бурении, раскрыт механизм разрушения, создающий дополнительные скальвающие поверхности при бурении, обеспечивающие повышение объемной скорости и снижение энергозатрат, что открывает возможности создания и разработки инновационного бурового инструмента.

Разработаны технико-экономические требования и технические задания на создание новых типов высокопроизводительных буровых станков шарошечного (рис. 2), ударно-вращательного, термического, комбинированного, термомеханического и взрывного бурения скважин, а также новых типов пневмударников, шарошечных долот, расширителей, буровых коронок высокой стойкости и наддолотных амортизаторов.

Совместно с ОАО "СпецГорМаш" разработаны опытные образцы и созданы смесительно-зарядные агрегаты. Комплекс исследований в области средств инициирования способствовал появлению нового детонирующего шнура ДШЭ-12, который в настоящее время является основным на горных предприятиях.

В части невзрывных методов разрушения горных пород проведен большой объем исследований в области эффективных способов разрушения гидropневматическими ударниками, электрическим током промышленной частоты, дисковыми роторными дробилками с большими энергиями единичного удара, электрического воздействия на массивы железных руд через взрывные скважины, новых технологических схем выемки скальных пород на карьерах, основанных на применении механических, электрофизических и термомеханических способов разрушения горных пород.

Для обеспечения искусственной вентиляции застойных зон и карьеров совместно с институтом "НИПИГормаш" разработаны, созданы, прошли промышленные испытания различные типы вентиляторных установок на базе самолетных и вертолетных несущих винтов. Разработаны системы всепогодного пылегазоподавления в атмосфере карьеров при отрицательных температурах. Для карьерных автосамосвалов с дизельным приводом разработана система снижения токсичности отработавших газов, которая успешно прошла стендовые и промышленные испытания (рис. 3).



Рис. 3. Активное воздействие воздушно-газожидкостных струй на пылегазовое облако с помощью турбовентилятора-оросителя НК-12КВ-1М

Исследования Уральской школы геомехаников сосредоточены на познании природы напряженно-деформированного состояния массива горных пород, изучении закономерностей природных и техногенных смещений и деформаций земной коры в областях техногенного воздействия добычи полезных ископаемых, выявлении природы и механизма зарождения, развития и проявления очагов техногенных катастроф, сопровождающих различные технологические процессы.

Главная направленность исследований научной школы по управлению качеством руды и рациональному использованию недр связана с анализом сырьевой базы горных предприятий черной метал-



А. А. Котяшев — директор института в 1985—1992 гг.

лургии СССР, решением теоретических вопросов усреднения руд перед обогащением, разработкой нормативных документов и методик по вопросам полноты и качества извлечения запасов руд черных металлов.

С 1985 по 1992 г. в непростой период перестройки и перехода отрасли на хозяйственный расчет и самофинансирование, а затем в период начала становления рыночных отношений руководство институтом горного дела осуществлял канд. техн. наук А. А. Котяшев. В результате адаптации ИГД к новым экономическим условиям его основные задачи и структура в значительной мере изменились, поскольку доля отраслевого финансирования сократилась до 35 % от общего необходимого объема.

К началу 1990-х гг. общая численность сотрудников института достигла 505 человек, в том числе 277 научных работников, из них 6 докторов и 91 кандидат наук. Результаты научных исследований реализовались более чем на 50 предприятиях МЧМ СССР, расположенных на северо-западе и в центре страны, на Урале, в Казахстане, Украине, Сибири.

К 1992 г. процесс политических и экономических изменений в стране привел к постепенному умиранию отраслевой науки, снижению объемов горного производства. В результате институт остался практически без средств к существованию. В этот тяжелый период директором института стал канд. техн. наук А. Д. Сашурин, который при поддержке коллектива приступил к поиску организационных и финансовых способов выживания. Учитывая негативный опыт уже приватизированных отраслевых институтов, преобладающим

числом голосов научных сотрудников было принято решение о необходимости сохранения института как исследовательской организации.

Руководствуясь целесообразностью появления в Уральском отделении РАН полнопрофильного Института горного дела, имеющего широкие связи с производством и его значительным научным потенциалом, администрация Свердловской области, Президиум УрО РАН и Президент РАН поддержали трудовой коллектив, и в 1994 г. решением Правительства РФ ИГД был введен в состав Уральского отделения РАН.

С 1995 г. директором ИГД УрО РАН стал чл.-корр. РАН В. Л. Яковлев, уже имевший к этому времени опыт руководства академическим институтом. Дальнейшая деятельность института характеризуется его адаптацией в системе Академии наук, возобновлением и расширением научных связей с академическими институтами горного профиля и горно-добывающими предприятиями Урала, развитием экспериментальной базы и оснащением современным исследовательским оборудованием, повышением качества фундаментальных исследований и увеличением объема внедренческих работ. Благодаря этому заметно улучшился кадровый состав сотрудников института, значительно возросло число докторов наук.

Традиционно, на протяжении длительного времени основными научными направлениями фундаментальных исследований института являются разработки теоретических основ стратегии освоения и комплексного исследования минерально-сырьевых ресурсов; создание научных основ новых тех-



А. Д. Сашурин — директор института в 1992—1995 гг.



В. Л. Яковлев — директор института в 1995—2006 гг.



С. В. Корнилов — директор института с 2006 г. по настоящее время

нологий разработки глубокозалегающих месторождений; исследование проблем геомеханики и разрушения горных пород.

В первом десятилетии XXI века институт выработал современные подходы к организации фундаментальных исследований, основанные на принципах программно-целевого планирования, системности и комплексности, междисциплинарности, инновационной направленности.

С 2006 г. институт возглавляет д-р техн. наук, проф. С. В. Корнилов. Под его руководством институт стал первой в Уральском отделении РАН научной организацией, прошедшей сертификацию по системе ISO 9001:2008.

За последние годы значительно расширилась практическая реализация результатов фундаментальных исследований, которые институт широко внедряет как на предприятиях России (УТМК-холдинг: Гайский и Учалинский ГОКи; Евразхолдинг: Высокогорский и Качканарский ГОКи; Нижнетагильский МК, АК "Алроса", комбинат "Магnezит", ОАО "Норильский никель", ОАО "Бурятзолото", ОАО "Карельский окатыш", Яковлевский рудник, Белоярская АЭС, ОАО Взрывпром", ОАО "Волгабурмаш" и "Уралбурмаш", ОАО "Турбомоторный завод", ФГУП КБТМ и пр.), так и в ближнем зарубежье: Беларусь (ОАО "БелАЗ"), Казахстан (Донской ГОК), Украина (Полтавский и Центральный ГОКи).

В институте широко развиваются комплексные исследования, выполняемые несколькими его лабораториями с привлечением сторонних организаций. Подготовлен и согласован с Ростехнадзором РФ технологический регламент подземной отработки запасов трубки "Удачная" (АК "Алроса") с применением систем с обрушением, разрабатывается

обоснование для проекта вскрытия рудника. Создана и защищена программа поддержания минерально-сырьевой базы комбината "Магnezит" до 2015 г., предусматривающая повышение степени комплексности и интенсивности эксплуатации, а также переработки минерального сырья. Разработаны технико-экономические показатели отработки месторождений южно-якутского железорудного узла (Таежное, Десовское, Тарынахское, Горкитское, Гаринское месторождения), основанные на новых подходах к освоению территорий в сложных условиях. Разработан технологический регламент отработки Эльгинского месторождения угля (Южная Якутия), сопровождающийся инженерно-геологическими изысканиями территории будущей промплощадки. В целях повышения степени извлечения полезного ископаемого из недр, уровня безопасности и экономичности подземной разработки выполняются геодинамические, геомеханические и технологические исследования для ОАО "Бурятзолото".

Совершенствуется методика оценки и мониторинга короткопериодных сейсмических колебаний, характеризующих текущее напряженно-деформированное состояние подрабатываемого массива, а также площадок строительства ответственных зданий и сооружений разного назначения в целях предотвращения возникновения и развития техногенных катастроф.

Развивается и совершенствуется методика технологического аудита горных предприятий, устанавливающего степень соответствия применяемой техники и технологии сложившимся горно-геологическим условиям ведения горных работ. На основании аудита угольных предприятий ОАО "СУЭК" разработана методика обоснования предельного срока службы карьерных автосамосвалов. По результатам исследований условий эксплуатации карьерного автотранспорта на глубоких горизонтах кимберлитовых карьеров Якутии разработано техническое предложение на создание гусеничного транспортного средства. Обоснованы основные технические параметры и конструктивные схемы гусеничных самосвалов грузоподъемностью 25...43 т (рис. 4).

Совместно с институтом "Якутнипроалмаз" разработаны варианты технологии проходки крутых съездов на карьерах АК "АЛРОСА" с использованием имеющегося горно-транспортного оборудования, а также временные рекомендации по безопасной эксплуатации полноприводных самосвалов с сочлененной рамой на крутых уклонах на горных

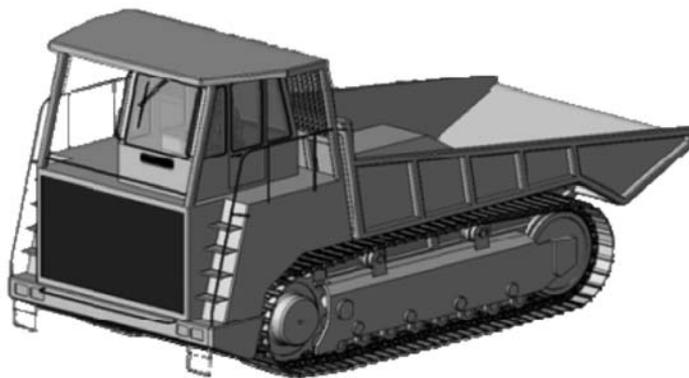
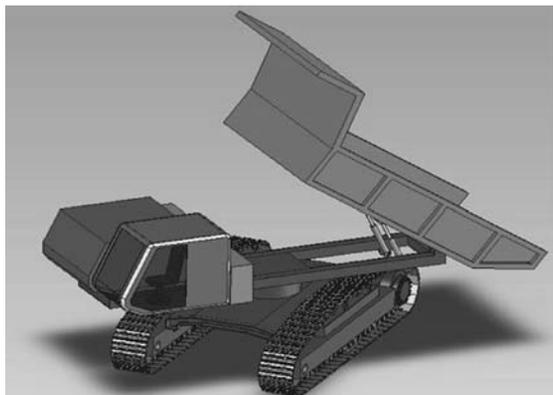


Рис. 4. Гусеничные самосвалы грузоподъемностью 25...43 т

работах, согласованные с управлением Государственного горного и металлургического надзора.

Совместно с Качканарским ГОКом разработан способ усиления конструкции моторных думпкоров тяговых агрегатов EL-20 на основе замены их хребтовых балок на хребтовые балки EL-10 и соответствующей реконструкции их тормозной системы. Опытно-промышленные испытания модернизированного тягового агрегата показали высокую работоспособность и эксплуатационную безопасность, что позволило рекомендовать их серийную реконструкцию. Разработаны, согласованы и утверждены программы и методики экспертизы технических устройств с истекшим сроком службы тяговых агрегатов и вагонов-самосвалов 2BC-195.

Проведены исследования, в результате которых установлена целесообразная форма породоразрушающих зубьев и наиболее рациональные расстояния между ними для шарошечных долот, применяемых при бурении взрывных скважин. Данная конструкция основана на новом механизме разрушения при бурении, предусматривающем переход от принципа выкола лунок к принципу комбинированного скола. Испытания новой конструкции при бурении крупнозернистых гранитов Нижне-Тагильского карьероуправления и крупнозернистых диаллаговых пироксенитов Качканарского ГОКа показали, что она обеспечивает уменьшение непроизводительного перетирания пород в забое скважины и увеличение скорости бурения в 1,4—1,5 раза.

Осуществлена модернизация применяемых на Качканарском ГОКе смесительно-зарядных машин для приготовления водосодержащих взрывчатых веществ в процессе зарядания обводненных скважин по непрерывному режиму на основе применения

смесителей проходного типа, рамочно-пропеллерных мешалок и перистальтических насосов. В результате модернизации давление взрывчатой смеси на подающем шланге доведено до 4...5 кг/см<sup>2</sup>, что обеспечило надежное формирование колонки заряда методом подачи "под столб воды", физическую стабильность смеси и сохранение ее взрывчатых свойств до 7 сут.

На месторождениях, где существует связь между химическим и гранулометрическим составами руды, рекомендована технология разделения ее на кондиционную и некондиционную составляющие за счет сегрегации на грохотильных пунктах. Расширяются работы по прогнозированию качественного состава руд и пород с использованием геофизических методов (комбинат "Магнезит", ОАО "Ураласбест").

Совместная деятельность института с проектными организациями (Урагипроруда, Урагипрошахт, Механобр-инжиниринг, Якутнипроалмаз, Гипроруда, СпецГорМаш и др.) обеспечивает разработку целевых проектов для горно-добывающих предприятий, создание условий для выпуска и испытаний нового горно-добывающего оборудования и бурового инструмента, повышение методического уровня и научного обеспечения горного производства.

Апробация и полупромышленные испытания теоретических разработок обеспечиваются наличием центров, доводящих научные результаты до конкретного потребителя. В настоящее время в институте на базе имеющихся лабораторий уже действуют: центр коллективного пользования (ЦКП) "Уральский Центр геомеханических исследований природы техногенных катастроф в районах добычи полезных ископаемых", технический центр экспер-

тизы и неразрушающего контроля оборудования, центр разрушения горных пород, проектный центр, центр экспертизы потерь при недропользовании, центр экспертизы промышленной безопасности. Организованы и оснащаются центры изучения физико-механических свойств горных пород и центр оперативного экологического мониторинга.

Накопленные в последние годы научные и кадровые структурные изменения позволяют перейти в сложившихся условиях к дальнейшему совершенствованию фундаментальных исследований, обеспечивающих решение современных прикладных проблем горно-добывающей промышленности, и к инновационной направленности исследований института.

Накопленный 50-летний опыт, традиции и квалификация сотрудников позволяет коллективу Института горного дела УрО РАН решать актуальные проблемы развития действующих предприятий.

Для них разрабатываются долгосрочные стратегии инновационно-технологического развития, включающие:

- решение комплексных задач анализа горно-геологической информации об объемах, качестве и пространственном расположении оставшихся запасов основных и попутных полезных компонентов;
- обоснование кондиций с учетом уточненных качественных признаков добываемого сырья и конъюнктуры отечественного и мирового рынка на товарную продукцию;
- уточнение границ открытых и подземных горных работ и их последовательного, параллельного или комбинированного применения;
- обоснование объемов добычи и номенклатуры товарной продукции как основы для выработки и принятия управленческих воздействий в

технологическом и организационно-экономическом развитии на краткосрочную и долгосрочную перспективу.

Развитие технологии горного производства основано на научных подходах, включающих:

- исследование режима горных работ в увязке с порядком их развития и формированием рабочей зоны, обеспечивающих предпосылки для управления качеством добываемого сырья;
- аудит и анализ структуры парка оборудования и на их основе — предложения по модернизации действующих, а также созданию и применению новых машин и механизмов;
- целевую оптимизацию параметров технологических процессов и их взаимодействие применительно к конкретным, специфичным условиям функционирования.

Еще одним примером комплексных исследований является разработка комплекса организационно-экономических мероприятий и управленческих воздействий в целях выхода предприятий из кризисных ситуаций или их предотвращения, в том числе обоснование способов резервирования и управления ресурсами предприятия всех видов (товарная продукция, финансы, оборудование, материалы и т. п.). Назовем также комплексный анализ управленческих решений и системная увязка элементов и подсистем горного предприятия как природно-технологической, организационно-экономической и финансовой системы и пр.

Созданная за многие годы приборная база и сформировавшийся научный коллектив позволяют оптимистично оценивать перспективы развития научной деятельности, получение интересных результатов и решений, соответствующих мировому уровню.

УДК 622.684:629.114.42.004.12

**А. В. Глебов**, канд. техн. наук, зам. директора по научным вопросам, ИГД УрО РАН,  
**Л. А. Репин**, управляющий проектом, ОАО "Уралмашзавод", г. Екатеринбург

E-mail: glebov@igduran.ru, levrepin@mail.ru

## **Цена владения — критерий выбора горного оборудования (на примере тяжелых экскаваторов)<sup>1</sup>**

---

*На основании фактических данных, собранных в результате технологического аудита предприятий Кузбасса, а также рекомендаций заводов-изготовителей, публичной информации в СМИ и научных журналах, проведена оценка эффективности работы тяжелых экскаваторов.*

**Ключевые слова:** экскаватор, автосамосвал, экскаваторно-автомобильный комплекс, надежность, цена владения, эффективность, производительность, себестоимость.

**A. V. Glebov, L. A. Repin**

## **Price Tenure — Selection Criteria Mining Equipment (for Example Heavy Excavators)**

---

*Based on the evidence gathered as a result of technological audit of the enterprises of Kuzbass, as well as on the basis of the recommendations of the manufacturers, the public information on the Internet and scientific journals — assess the effectiveness of the shovels.*

**Keywords:** shovel, dump truck, reliability, cost of ownership, efficiency, productivity, cost.

На сегодняшний день на горно-добывающих предприятиях с открытым способом разработки особая роль принадлежит экскаваторно-автомобильному комплексу (ЭАК). ЭАК — не только наиболее сложное и трудоемкое звено технологического процесса разработки месторождений полезных ископаемых, но и в значительной степени определяет условия и показатель работы других звеньев и предприятия в целом.

ЭАК является частью системы большинства карьеров, а экскаваторы — одной из самых сложных и дорогих машин.

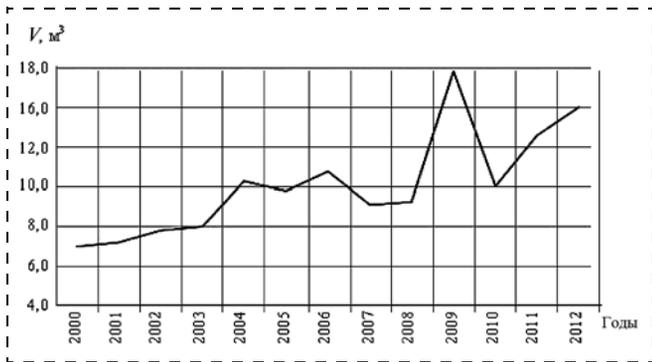
Известно, что технико-эксплуатационные параметры и показатели экскаватора существенно влияют на объем выемки пород из карьера, на трудоемкость и стоимость ремонта машин, на себестоимость экскавации.

При покупке экскаватора в основном руководствуются их ценой и техническими параметрами, и в меньшей степени учитывают влияние выбранной модели на горно-технические и эксплуатационные параметры и показатели работы карьера в целом. Выбор лучшей модели часто проводится путем сравнения основных параметров (по перспектам), опыта работы машин в аналогичных условиях и т. д. Параметры и показатели технической характеристики экскаватора при этом принимаются во внимание на уровне субъективной оценки показателя (лучше—хуже), что затрудняет правильный выбор лучшей модели из числа нескольких примерно одинаковых. Количественная оценка степени пригодности предлагаемых на выбор нескольких моделей экскаваторов для конкретного карьера при изменяющихся во времени горно-технических условиях не проводится из-за отсутствия методических научно обоснованных положений [1].

В настоящее время большинство карьеров (9 из 10) ориентированы на увеличение единичной

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках конкурсного проекта № 12-С-5-1030, финансируемого Уральским отделением РАН "Прогноз развития транспортных систем карьеров с учетом совершенствования геотехники и повышения требований экологичности".



Динамика изменения средней вместимости ковша, м³, на предприятиях России

мощности экскаватора и вместимости ковша [2]. За последние 12 лет средняя вместимость ковша экскаваторов на предприятиях России выросла более чем в 2 раза (см. рисунок).

Рынок мощных карьерных экскаваторов, не считая гидравлических, в России делят пять производителей: P&H, Bucyrus (CAT), WK, ИЗ-Картэкс и Уралмашзавод. Наиболее новым и интересным для горно-добывающих предприятий является рынок экскаваторов с ковшом вместимостью 30 м³ и более.

Начиная с 2000 г., на разрезы России были поставлены 14 экскаваторов РН 2800, пять экскаваторов WK-35 и один опытный образец — экскаватор ЭКГ-32Р (производства ИЗ-Картэкс), имеющие речечный напор. Экскаваторы Bucyrus 395HR особым спросом в России не пользуются.

Такое разделение спроса было связано с тем фактом, что до 2011 г. российское тяжелое машиностроение не могло предложить горно-добывающим предприятиям экскаваторы такого класса. Сейчас рынок экскаваторов с ковшом вместимостью 30 м³

представлен моделями ЭКГ-30, ЭКГ-32Р, 395HR, WK-35, P&H 2800XPC. Предполагается, что к 2020 г. потребление экскаваторов данного класса превысит 120 ед., или 77 млрд руб.

Принципиальным остается вопрос, каким экскаваторам отдадут предпочтение? Как сравнить экскаваторы? По каким параметрам выбрать лучший?

Выбор должен основываться на оценке уровня потребительских качеств экскаваторов, т. е. учитывать технический уровень, уровень сервисного обслуживания, уровень соответствия условиям и уровень производственной эффективности техники.

В табл. 1 приведены эксплуатационные параметры экскаваторов класса ЭКГ-30. Основное внимание необходимо обратить на пять показателей: радиус копания наибольший, высота копания наибольшая, радиус разгрузки наибольший, высота разгрузки наибольшая, радиус копания на уровне стояния, которые характеризуют геометрию копания экскаваторов. Данные показатели значительно выше у отечественных экскаваторов ЭКГ-30 и ЭКГ-32Р. Наилучшую геометрию копания имеет экскаватор ЭКГ-30 производства ОАО "Уралмашзавод". Показатели, характеризующие геометрию копания, у экскаватора ЭКГ-30 в целом превышают более чем на 13 % показатели импортных и отечественных аналогов.

Анализ силовых характеристик экскаваторов данного класса (табл. 2) показал, что экскаватор ЭКГ-30 превосходит импортные и отечественные аналоги. Превышение по основному параметру — весу породы в ковше составляет более 18 %. Силовые параметры и геометрия копания экскаватора ЭКГ-30 обеспечивают более высокую производительность по сравнению с аналогами в пересчете на 1 м³ ковша.

Таблица 1

Эксплуатационные параметры некоторых экскаваторов

Параметры	ЭКГ-30	ЭКГ-32Р	395HR	WK-35	P&H 2800XPC
Вместимость основного ковша, м³	30	32	32	35	33
Длина стрелы, м	19	19	19,5	16,67	16,67
Угол наклона стрелы, °	47	47	47	45	45
Радиус копания наибольший, м	25	24	23,3	24	24,2
Высота копания наибольшая, м	19	19	16,7	16,2	16,6
Радиус разгрузки наибольший, м	21,8	21	20,5	20,9	20,85
Высота разгрузки наибольшая, м	12,7	10,5	10	9,4	9,1
Радиус копания на уровне стояния, м	17,5	16	15,4	15,8	16,4
Радиус вращения хвостовой части, м	11	10,06	8,67	9,95	9,9
Просвет под платформой, м	3,72	3,98	3,45	2,7	2,7
Рабочая масса, т	1250	1030	1179	1065	1079
Противовес, т	130	100	260	228	230
Удельное давление на грунт при передвижении, МПа (кгс/см²)	0,31 (0,271)	0,254	0,362 (0,311)	0,425 (0,33)	0,442 (0,345)

Силовые характеристики экскаваторов с ковшом вместимостью 30 м<sup>3</sup>

Параметры	ЭКГ-30	ЭКГ-32Р	395HR	WK-35	P&H 2800XPC
Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	30	32	30	35	33
Вес породы в ковше, т	68	60	63,5	60	60
Подъемное усилие, тс	270	240	Н.д.	215	215
Напорное усилие, тс	120	100		100	90
Продолжительность цикла, с	30	30	30	30	30
Мощность основного трансформатора, кВА	3000	2500	Н.д.	2000	2500
Тип привода	ПЧ-АД	ПЧ-АД	АД	Н.д.	СтП-Д
Мощность приводов, кВт:					
подъема	2 × 1000	2 × 850	Н.д.	2 × 700	2 × 1194
напора	400	2 × 200	Н.д.	400	537
поворота	4 × 300	2 × 450	Н.д.	2 × 400	746
хода	2 × 450	2 × 400	Н.д.	2 × 450	612

Примечание: 1 тс ≈ 9,81 кН, Н.д. — нет данных.

Расчет эффективности ЭАК

Показатели	УЗТМ			ИЗ-Картэкс			Bucyrus			WK			P&H		
	ЭКГ-30			ЭКГ-32Р			395HR			WK-35			2800XPC		
Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	30			32			30			35			33		
Плотность экскавируемой породы, т/м <sup>3</sup>	2,81														
Коэффициент разрыхления	1,35														
Коэффициент наполнения ковша	1,00			0,88			0,93			0,88			0,88		
Коэффициент использования грузоподъемности автосамосвала (а.с.)	0,95														
Грузоподъемность а.с., т	220	280	320	220	280	320	220	280	320	220	280	320	220	280	320
Расчетное число ковшей в а.с.	3,35	4,26	4,87	3,57	4,54	5,19	3,60	4,58	5,23	3,26	4,15	4,74	3,46	4,40	5,03
Реальное число ковшей в а.с.	3	4	5	4	5	5	4	5	5	3	4	5	3	4	5
Коэффициент эффективности ЭАК	0,90	0,94	0,97	0,89	0,91	0,96	0,90	0,92	0,96	0,92	0,96	0,95	0,87	0,91	0,99
Время цикла, с	30														
Время установки а.с. под погрузку, мин	1														
Время подготовки забоя перед погрузкой, мин	1														
Время загрузки а.с., мин	3,1	3,6	4,1	3,6	4,1	4,1	3,6	4,1	4,1	3,1	3,6	4,1	3,1	3,6	4,1
Теоретическая часовая производительность экскаватора, м <sup>3</sup> /ч	1770	2028	2222	2163	2370	2370	2028	2222	2222	2066	2366	2593	1948	2231	2444
Техническая часовая производительность экскаватора, м <sup>3</sup> /ч	1311	1502	1646	1410	1545	1545	1397	1531	1531	1346	1542	1690	1270	1454	1593
Коэффициент готовности	0,92														
Коэффициент технического использования	0,85														
Эксплуатационная часовая производительность экскаватора, м <sup>3</sup> /ч	1026	1175	1287	1103	1208	1208	1093	1197	1197	1053	1206	1322	993	1137	1246
Коэффициент неучтенных простоев	0,93														
Коэффициент производительной работы	0,95														
Месячная производительность экскаватора, тыс. м <sup>3</sup> /мес	585	702	797	625	698	741	625	698	727	616	740	797	548	658	788
Годовая производительность экскаватора, тыс. м <sup>3</sup> /год	7017	8421	9567	7504	8371	8892	7504	8371	8728	7396	8876	9567	6575	7891	9456
Объем погруженной горной массы за 23 года, млн м <sup>3</sup>	161,4	193,7	220,0	172,6	192,5	204,5	172,6	192,5	200,8	170,1	204,2	220,0	151,2	181,5	217,5

Расчет стоимости владения экскаваторами с ковшом вместимостью 30 м<sup>3</sup>

Показатели	ЭКГ-30	ЭКГ-32Р	395HR	WK-35	2800ХРС
Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	30	32	30	35	33
Средняя месячная производительность экскаватора, тыс. м <sup>3</sup> /мес	797	741	727	797	788
Годовая производительность экскаватора, тыс. м <sup>3</sup> /год	9567	8892	8728	9567	9456
Объем погруженной горной массы за 23 года, млн м <sup>3</sup>	220,0	204,5	200,8	220,0	217,5
Индикативная цена единицы оборудования, млн руб., без НДС	450	404	638	540	612
Срок службы, лет, не менее			23		
Расчетные годовые затраты на техническое обслуживание и проведение планово-предупредительных и текущих ремонтов, млн руб./год	7,4	8,3	29,9	25,3	32,9
Расчетная стоимость среднего ремонта, млн руб.	19,6	22,1	183,7	155,5	202,6
Число средних ремонтов за 23 года			3		
Расчетная стоимость капитального ремонта, млн руб.	74,4	83,5	222	187,9	244,8
Число капитальных ремонтов за 23 года			2		
Расчетные годовые затраты на электроэнергию, млн руб./год	9,6	10,3	10,1	11,1	12,2
Расчетные годовые затраты на ЗП с учетом ЕСН, млн. руб./год	6,1	6,1	7,4	7,4	7,4
Цена владения за 23 года, млн руб.	1150,8	1164,1	2573,7	2262,5	2751,6
Себестоимость экскавации 1 м <sup>3</sup> отгруженной горной массы, руб./м <sup>3</sup>	5,23	5,69	12,82	10,28	12,65

Расчет эффективности ЭАК (табл. 3) показал, что при обеспечении высоких коэффициентов технической готовности и использования во времени все экскаваторы показывают достаточно высокие показатели по производительности. Для расчета были приняты реальные условия одного из угольных разрезов Кузбасса (плотность, коэффициент разрыхления, автопарк), где эксплуатируются четыре из пяти экскаваторов, участвующих в расчете. Расчетные показатели по производительности сравнивались с фактическими, погрешность  $\pm 5\%$ .

Однако помимо высокой надежности и технической готовности тяжелых карьерных экскаваторов основным преимуществом и приоритетом при выборе является низкая стоимость владения, расчет которой приведен в табл. 4.

Стоимость владения рассчитана в ценах 2012 г. исходя из условия обеспечения высокого коэффициента технической готовности, производительности, а также рекомендаций завода-изготовителя по техническому обслуживанию и ремонту. За интервал оценки принят срок службы карьерных мехлопат — 23 года. Для расчета оценки стоимости владения были приняты максимальные показатели по производительности с наивысшим коэффициентом эффективности ЭАК, в состав которых входят автосамосвалы грузоподъемностью 320 т. Для расчета стоимости владения также были использованы фактические данные и расчетные (на основе рекомендаций заводов-изготовителей по техническому обслуживанию и ремонту) по за-

тратам на техническое обслуживание, текущие, средние и капитальные ремонты.

Анализируя табл. 4, можно сделать вывод, что Группа Уралмаш—Ижора за последние 7—10 лет сделала колоссальный прорыв: отечественные экскаваторы ЭКГ-30 и ЭКГ-32Р по параметрам назначения и силовым параметрам не уступают импортным аналогам, а по отдельным показателям значительно превосходят их. Кроме того, экскаваторы ЭКГ-30 и ЭКГ-32Р имеют значительно меньшую совокупную стоимость владения, и как следствие, в разы меньшую себестоимость экскавации.

Из этого следует, что экскаваторные парки горно-добывающих предприятий должны быть сформированы надежными и высокопроизводительными речными экскаваторами ЭКГ-30 производства ОАО "Уралмашзавод" и ЭКГ-32Р производства ООО "ИЗ-Картэкс".

Аналогичные оценки по эффективности применения и выбора отечественных класса 12 и 18-кубовых экскаваторов были выполнены и размещены в публикациях [1, 2].

#### Список литературы

1. Глебов А. В., Репин Л. А. Методика формирования параметров экскаваторно-автомобильного комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. № 11. Проблемы недропользования. 2011(2012). С. 359—370.
2. Глебов А. В., Репин Л. А. Оценка эффективности применения мехлопат и гидравлических экскаваторов в условиях Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 6. С. 20—22.

УДК 629.114

**И. В. Гайсёнок**<sup>1</sup>, зам. нач. отдела РКЦМП\*, **А. А. Дюжев**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ген. директор,  
**С. И. Кочетов**<sup>1</sup>, нач. отдела РКЦМП, **П. Л. Мариев**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, директор НТЦ "Карьерная техника",  
**П. И. Тарасов**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., **С. В. Харитончик**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, директор РКЦМП  
<sup>1</sup>ГНУ "Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси"

<sup>2</sup>ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

E-mail: gaisenok@tut.by

## **Применение многозвенных автопоездов в горно-добывающей промышленности**

---

*Рассмотрены проблемы и задачи транспортировки горных пород, мировой и белорусский опыт применения многозвенных транспортных средств для магистральных перевозок и в горно-добывающей промышленности, а также их преимущества. Приведен вариант конструктивного исполнения многозвенного самосвального автопоезда и технологический цикл его работы.*

**Ключевые слова:** автопоезд, горные работы, звено.

**I. V. Gaysyenok, A. A. Dyuzhev, S. I. Kochetov, P. L. Mariev, P. I. Tarasov, S. V. Kharitonchik**

## **The Usage of Multilink Trucks in Mining Industry**

---

*Rock transportation problem and tasks, world and Belarusian experience of usage of multilink vehicles in linehaul transportation and mineral resource industry and its advantages are considered. A variant of multilink dump truck construction and its work cycle are speculated.*

**Keywords:** trucks, mining, link.

### **Проблемы транспортировки руды от удаленных месторождений**

Рядом исследований [1 и др.] констатируется факт того, что многие известные месторождения горных пород обладают недостаточно богатыми для эффективного использования запасами ресурсов и расположены удаленно (10...200 км) от центров с развитой инфраструктурой, в частности, в Республике Саха—Якутия. Исследователями делается вывод, что строительство обогатительных производств на таких площадках нецелесообразно, а транспортировка руды на существующие обогатительные фабрики требует значительных эксплуатационных затрат.

Одним из решений по повышению эффективности отработки месторождений в таких условиях может стать применение новых видов магистрального транспорта.

---

\*РКЦМП — Республиканский компьютерный центр машиностроительного профиля.

### **Самосвальные автопоезда для горно-промышленных работ**

По имеющимся сведениям, в настоящее время на горно-промышленных предприятиях применяются автосамосвалы грузоподъемностью 20...40 т для перевозки горной массы из забоев в отвалы и на перегрузочные пункты с расстоянием транспортирования 4...6 км и автополуприцепы грузоподъемностью до 60 т с расстоянием транспортирования до 100 км. Российская промышленность на рынке самосвальных карьерных автопоездов представлена главным образом автопоездами Тонар с тягачом полной массой 28,5 т и самосвальными полуприцепами с боковой разгрузкой полной массой 64,3 т.

Одним из перспективных направлений развития грузовой автомобильной техники, которым в последние годы активно занимаются ведущие мировые производители, являются автопоезда большой длины и соответственно повышенной грузоподъем-



Рис. 1. Автопоезд Powertrans

ности, созданные на основе звенной компоновки. В мировой практике на горно-промышленных предприятиях наибольшее распространение многозвенные автопоезда получили в Австралии. Как правило, они состоят из мощного тягача и двух—трех прицепов. Например, австралийскими властями на дорогах общего пользования разрешено передвижение тягача Mack с двумя прицепами общей длиной до 36,5 м и массой до 85 т. Для магистральных перевозок разрешается использовать автопоезда Mack общей длиной до 53,6 м и массой до 125 т [2]. По специальному разрешению допускается сцепка тягача Mack с прицепами до семи единиц, в которых можно перевозить до 190 т груза [3, 4].

Максимальная грузоподъемность специализированных сверхмощных многозвенных автопоездов компании Powertrans, предназначенных для перевозки руды вне дорог общего пользования, составляет 750 т [5].

По нашей оценке, автопоезда Powertrans (рис. 1) представляют собой высокоэффективные транспортные средства и достойную альтернативу при дальних транспортировках классическим карьерным самосвалам. Это обеспечивается тем, что в конструкции автопоезда имеется головной тягач, не менее одного прицепа-тягача и от двух до шести прицепов. Автопоезд с четырьмя прицепами имеет грузоподъемность около 400 т [6]. Самый мощный автопоезд, способный перевозить до 750 т железной руды, состоит из двух активных прицепов и четырех обычных прицепов. Нагрузка на одиночную ось в таких автопоездах достигает 25 т.

#### **Преимущества использования многозвенных автопоездов**

Многозвенные автопоезда по своим конструктивным особенностям обеспечивают ряд преимуществ при эксплуатации по сравнению с совокуп-

ностью одиночных транспортных средств аналогичной грузоподъемности:

- повышение производительности не менее чем в 1,5 раза;
- уменьшение себестоимости перевозок не менее чем на 20 %;
- уменьшение числа занятых водителей;
- повышение грузоподъемности без увеличения осевых нагрузок;
- повышение удельной производительности на 1 т груза;
- наличие в составе автопоезда нескольких энергоустановок и как минимум по одному ведущему мосту в каждом звене;
- равномерное распределение тягового усилия по длине автопоезда;
- возможность обеспечения габаритных размеров и нагрузок на оси, соответствующих параметрам дорог общего пользования;
- возможность использования массовых автомобильных шин;
- более низкую себестоимость изготовления ввиду модульности конструкции и унификации с существующими транспортными средствами;
- уменьшение затрат на ремонт, обслуживание и амортизационные отчисления прицепного парка;
- уменьшение численности парка в связи с повышением производительности автопоездов.

Важной конструктивной особенностью многозвенных автопоездов является наличие однотипных или унифицированных элементов в каждом звене, которые могут быть объединены в модули. В свою очередь модульный подход позволяет создавать высокотехнологичные типы машин, функционирующих с максимальной эффективностью особенно в условиях бездорожья и при перевозке больших объемов груза.

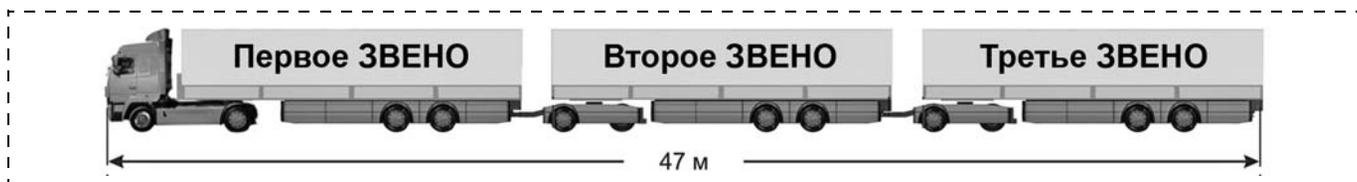


Рис. 2. Экспериментальный образец многозвенного автопоезда второго поколения

### Опыт Беларуси по созданию многозвенных магистральных автопоездов

В 2009 г. Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси и Минским автомобильным заводом был изготовлен экспериментальный образец трехзвенного магистрального автопоезда. Первое звено состоит из автомобиля-тягача ( $4 \times 2$ ) и полуприцепа ( $4 \times 0$ ); второе (третье) — из подкатной тележки ( $4 \times 0$ ) и полуприцепа ( $4 \times 0$ ).

Общая длина данного многозвенного автопоезда составила 47 м, объем перевозимого груза —  $267 \text{ м}^3$  при допустимой по осевым нагрузкам грузоподъемности 62,7 т и полной массе автопоезда 99,1 т.

Экспериментальный образец многозвенного автопоезда успешно прошел в Беларуси комплекс исследовательских на Республиканском автополигоне и пробеговых испытаний по трансъевропейской автодороге М1/Е30 (Брест—Москва), которые позволили подтвердить правильность выбранной концепции. В частности, автопоезд продемонстрировал устойчивое, управляемое и безопасное движение в условиях реального транспортного потока различной плотности.

В 2012 г. создан новый экспериментальный образец автопоезда второго поколения (рис. 2), который принципиально отличается от образца первого поколения и характеризует собой современную концепцию многозвенного магистрального автопоезда. В его конструкции реализованы современные технические решения, инновационные технологии и подходы к проектированию. Прежде всего, это активные прицепные звенья, состоящие из полуприцепов с тяговыми модулями, число которых может варьироваться в зависимости от характера перевозимого груза и маршрута.

Общая длина многозвенного автопоезда второго поколения также составила 47 м, объем перевозимого груза —  $259 \text{ м}^3$  при реальной грузоподъемности в 55,3 т и полной массе автопоезда 98,7 т. Первое звено — автомобиль-тягач ( $4 \times 2$ ) и грузовой модуль (полуприцеп) ( $4 \times 0$ ) с управляемыми колесами. Второе (третье) звено состоит из тягового модуля ( $4 \times 2$ ) с электромеханической трансмиссией и грузового модуля.

Тяговые модули (рис. 3, см. 2-ю стр. обложки) имеют дизель-электрический привод, включающий дизельный двигатель, электрогенератор, ведущие мосты со встроенными мотор-колесами. Дизель-электрический привод обеспечивает работу двигателя в наиболее экономичных режимах. Подвод мощности к осям каждого звена автопоезда позволяет конструктивно обеспечить необходимую силу тяги на ведущих колесах при коэффициенте сцепного веса более 0,25, а также курсовую устойчивость и управляемость, в том числе в условиях пониженного коэффициента сцепления колес с дорогой. Наличие тягового модуля с управляемой передней осью и электромеханическим рулевым управлением обеспечивает возможность автономного движения и маневрирования каждого отдельного звена пультом дистанционного управления.

Для обеспечения необходимой маневренности и уменьшения износа шин каждый грузовой модуль (рис. 4, см. 2-ю стр. обложки) оборудован механической системой поворота колес.

Высокий уровень безопасности движения автопоезда обеспечен за счет применения таких современных электронных систем, как электронная система управления трансмиссией, электронная тормозная система (EBS) с функцией курсовой устойчивости, многоуровневая электронная система управления движением, система видеонаблюдения и др.

Данный многозвенный автопоезд прошел отладку, тестирование и исследовательские испытания. Также была проведена оценка показателей безопасности, маневренности, устойчивости, тормозных свойств, удобства технического обслуживания, конструктивных параметров и эксплуатационных свойств на соответствие их конструкторской и нормативной документации. В настоящее время продолжают испытания автопоезда и подготовка к опытной эксплуатации.

### Предложения по применению многозвенных самосвальных автопоездов

Один из возможных вариантов компоновочных схем многозвенного самосвального автопоезда, в качестве звеньев которого служат автомоби-

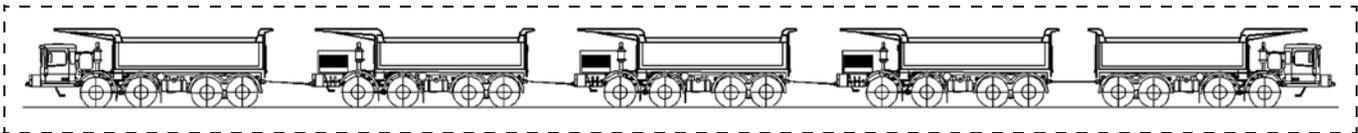


Рис. 5. Многозвенный самосвальный автопоезд для горных работ

самосвалы, например, Минского завода колесных тягачей (МЗКТ), представлен на рис. 5. Применение серийных узлов и агрегатов позволит в короткие сроки и при минимальных затратах изготовить автопоезд.

В состав самосвального многозвенного автопоезда входит от 2 до 5 звеньев. Общая длина пятизвенного автопоезда составляет около 56 м, объем перевозимого груза —  $50 \text{ м}^3$  при грузоподъемности в 100 т и полной массе автопоезда 194 т.

Первое и последнее звенья представляют собой автомобиль-самосвал (рис. 6), промежуточные звенья — активные прицепы-самосвалы. Все звенья самосвального многозвенного автопоезда имеют полноприводную схему с односкатной ошиновкой, максимальной нагрузкой на оси 10 т и управляемые колеса первой и второй осей. Объем платформы составляет  $10 \text{ м}^3$  при грузоподъемности 20 т и полной массе до 40 т.

Для управления многозвенным автопоездом необходимы многоуровневая электронная система управления движением и система видеонаблюдения при эксплуатации в условиях недостаточной видимости. В качестве трансмиссий звеньев многозвенного автопоезда могут использоваться механические, электрические и комбинированные (гибридные) приводы, определяемые на основе теоретических исследований и требований заказчика.

Предполагается возможное использование самосвального многозвенного автопоезда при различных технологических циклах:

а) работа в подземных условиях без разворота на малых плечах ездки до 2...3 км для транспортировки руды из шахты;

б) работа автопоезда в качестве "магистрального" по технологическим дорогам на

больших плечах ездки от 10 до 200 км и более от месторождения до обогатительных фабрик или места накопления руды.

Для вновь проектируемых карьеров требуется разработка технологических дорог возле места добычи и обогатительных фабрик (мест накопления) с разворотными кольцами радиусом до 21 м (рис. 7).

В этом случае полный замкнутый технологический цикл работы самосвального многозвенного автопоезда представляется следующим образом: заезд автопоезда в шахту (автопоезд сцеплен по "поездной компоновке", т. е. первое и последнее звенья расположены кабинами в разные стороны (см. рис. 5)) — загрузка — выезд из шахты без разворота и остановка для разворота последнего звена — движение автопоезда по технологическим дорогам в "магистральном" режиме (рис. 8) до обогатительной фабрики — выгрузка груза — разворот всего автопоезда и движение его обратно к шахте — разворот многозвенного автопоезда и последнего звена — заезд автопоезда в шахту.

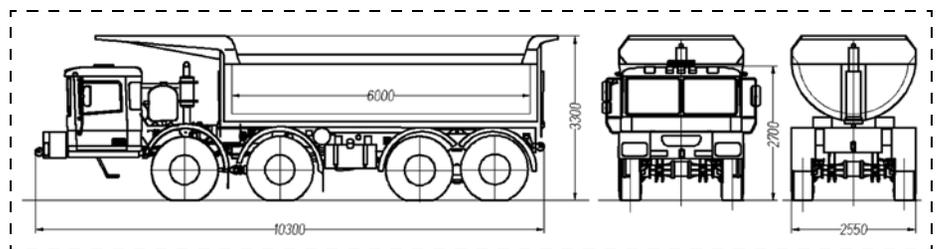


Рис. 6. Автомобиль-самосвал многозвенного автопоезда

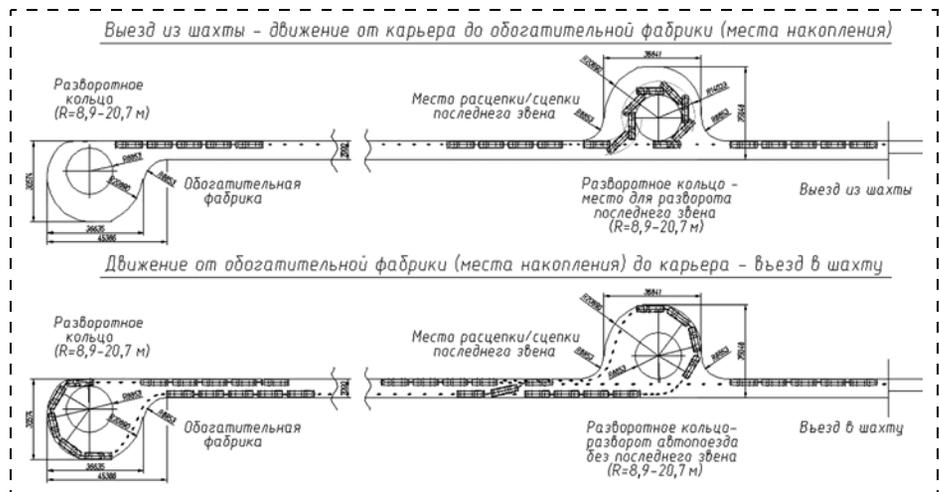


Рис. 7. Схема цикла работы многозвенного автопоезда для горных работ

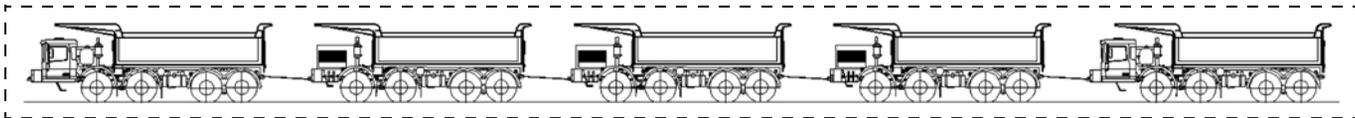


Рис. 8. Схема сцепки самосвального многозвенного автопоезда для горных работ при движении в "магистральном" режиме

Применение электромеханической трансмиссии позволит исключить потребность в разворотных кольцах и разворотах звеньев, а длительное движение автопоезда будет осуществляться в любом направлении.

#### Список литературы

1. Яковлев В. Л., Тарасов П. И., Журавлев А. Г. Новые специализированные виды транспорта для горных работ / Под ред. В. Л. Яковлева. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 375 с.
2. Австралийские автопоезда Mack в книге рекордов Гиннеса [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dm-mack.ru/articles-10.shtml> (дата обращения: 26.09.2013).

3. Страна шоссейных гигантов: австралийские автопоезда [Электронный ресурс]. URL: <http://www.por-mech.ru/article/1343-strana-shosseynyih-gigantov> (дата обращения: 26.09.2013).

4. Австралийские автопоезда: длина поражает воображение [Электронный ресурс]. URL: <http://tdrusavto.ru/?news=avstraliyslie-avtopoezda-dlina-porazhaet-voobra-zhenie> (дата обращения 26.09.2013).

5. Самый большой в мире автопоезд [Электронный ресурс]. URL: <http://mirnt.ru/statji/avtopoezd> (дата обращения: 26.09.2013).

6. Описание автопоезда Powertrans [Электронный ресурс]. URL: <http://www.powertrans.net/2011/index.php/surface-haulage-systems.html> (дата обращения: 26.09.2013).

УДК 622.684:629.3

А. В. Глебов, канд. техн. наук, зам. директора по научным вопросам, ИГД УрО РАН,  
Ю. И. Лель, д-р техн. наук, проф., И. А. Глебов, студ., УГГУ, г. Екатеринбург

E-mail: [glebov@igduran.ru](mailto:glebov@igduran.ru)

## Перспективный сборочный транспорт открытых горных работ<sup>1</sup>

*Приведены технические характеристики шарнирно-сочлененных самосвалов. Изложен опыт их эксплуатации за рубежом. Показаны возможности использования этих самосвалов при отработке глубокозалегающих и нагорных месторождений твердых полезных ископаемых России.*

**Ключевые слова:** глубокозалегающие месторождения, открытые горные работы, шарнирно-сочлененные самосвалы, повышенный уклон, эффективность отработки.

A. V. Glebov, Yu. I. Lel, I. A. Glebov

## Prospective Assembly Transport of Surface Mining Operations

*Lists the technical specifications of articulated dump trucks. Describes the experience of their exploitation abroad. Possibilities of using these trucks when developing deep and the mountains of the deposits of solid mineral resources of Russia.*

**Keywords:** deep-bedding deposits, surface mining operations, articulated-jointed dump trucks, heightened grade, efficiency of development.

При неуклонно растущей глубине открытой разработки полезных ископаемых (рис. 1) [1], услож-

нении горно-технических и горно-геологических условий целесообразно использовать инновационные технологии и горное оборудование, что позволит отстраивать борта с максимально возможными по устойчивости параметрами и отрабатывать месторождение с минимальным объемом вскрыши.

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках конкурсного проекта № 12-С-5-1030, финансируемого Уральским отделением РАН, "Прогноз развития транспортных систем карьеров с учетом совершенствования геотехники и повышения требований экологичности".

Это даст возможность вести выемочные работы ниже ранее намеченной проектной глубины карьеров и с минимальными затратами добывать и перерабатывать руду.

Для полноты использования геометрического пространства карьеров и отстройки бортов с предельно допустимыми по физико-механическим условиям параметрами представляется целесообразным применение конструкции транспортных берм с минимальной шириной и максимальным уклоном (более 15...18 %).

Преодоление крутых уклонов карьерными автосамосвалами технически возможно лишь на коротких участках, так как с увеличением затяжного подъема работа двигателя и трансмиссии на предельных режимах ведет к снижению надежности и выходу из строя основных узлов машины, повышается износ шин, возрастает расход топлива, скорость транспортирования падает, а эксплуатационные затраты растут. Поэтому в стесненных условиях при доработке глубоких карьеров в качестве сборочного транспорта целесообразно использовать самосвалы с шарнирно-сочлененной рамой (ШСС).

Сегодня в мире ШСС выпускают компании Volvo, Caterpillar, Bell, Liebherr, Komatsu, Mitsubishi, Terex, Belaz (БелАЗ-75281 грузоподъемностью 36 т (рис. 2)) и многие другие. В России производство ШСС только начинается (в Чебоксарах в 2013 г. на заводе "Промтрактор" собран первый самосвал С-33 (рис. 3)), поэтому спрос на них в России в полном объеме удовлетворяется импортом. Так, по данным журнала "Основные средства" в январе—октябре 2011 г. наблюдался двукратный рост поставок ШСС по сравнению с аналогичным периодом 2010 г. По сравнению с 2009 г. импорт увеличился почти в 8 раз [2]. При этом лидером является компания Volvo (Швеция). По итогам 2012 г. доля данной марки в российском импорте составила 39 %. Основными моделями являются Volvo A40F, Volvo A35F и Volvo A30F [3].

Кроме Volvo в тройке лидеров-импортеров ШСС в России находятся также Caterpillar (США) с долей в общем объеме импорта, равной 17 %, и Bell (ЮАР) с долей, равной 11 %. В 2011 г. компания Caterpillar импортировала в Россию сочлененные самосвалы марок САТ-730 и САТ-740В, а компания Bell — самосвалы марок Bell-40D и Bell-B50D. В 2012 г. импорт американского производителя значительно вырос как в количественном, так и в качественном выражении. Ввоз ШСС южно-африканского производителя сократился на 24,5 %. Основная модель, импортировавшаяся в 2012 г., —

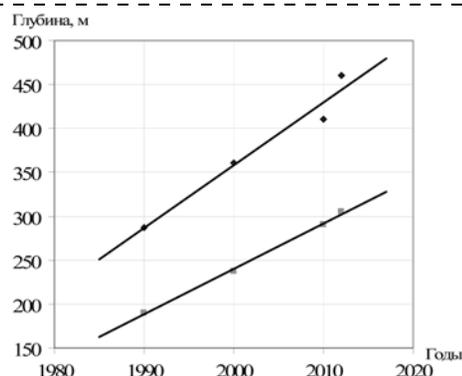


Рис. 1. Диапазон глубины карьеров 15 крупнейших ГОКов СНГ



Рис. 2. Шарнирно-сочлененный самосвал БелАЗ-75281 грузоподъемностью 36 т



Рис. 3. Шарнирно-сочлененный самосвал С-33 грузоподъемностью 36 т

Bell 40D. Кроме того, в рассматриваемом периоде в Россию было ввезено 7 самосвалов Bell B50D. Технические характеристики некоторых моделей ШСС приведены в таблице.

В 2011 г. на рынке ШСС появилась фирма Liebherr с самосвалом модели ТА 230 грузоподъемностью 30 т, а по итогам 2012 г. марка прочно обосновалась среди лидеров отрасли и увеличила объемы ввоза рассматриваемой техники в 6 раз.

Все перечисленные выше машины прекрасно зарекомендовали себя в различных отраслях строительства при перевозке грузов в труднопроходимых условиях, а также при добыче полезных ископаемых и строительных материалов открытым способом для их транспортировки из забоев к пунктам разгрузки. Положительный мировой опыт эксплуатации самосвалов Volvo A40D на предприятиях "Marmi di

Техническая характеристика ШСС

Показатели	Производитель					
	Volvo (Швеция)		Bell (ЮАР)		Caterpillar (США)	Liebherr (Швейцария)
	A35D	A40D	B40D	B50D	740B	ТА 230
Колесная формула	6 × 6	6 × 6	6 × 4	6 × 6	6 × 6	6 × 6
Грузоподъемность, т	32,5	37,0	36,0	45,0	38,0	30,0
Двигатель	Volvo D12C ADE2	Volvo D12C ADE2	Mercedes Benz OM501LA	Mercedes Benz OM502LA	Cat® C15 ACER	Liebherr D936LA6
Мощность, кВт	289	313	315	380	361	270
Вместимость кузова, м <sup>3</sup> :						
геометрическая	15,2	16,9	16,9	21,4	17,8	14,6
с "шапкой"	20	22,5	22,5	28,2	23,1	19
Габаритные размеры, м:						
ширина	3,208	3,432	3,264	3,900	4,163	2,960
длина	11,178	11,287	10,527	10,749	11,698	10,225
высота	3,681	3,746	3,792	4,290	4,039	3,395
Радиус поворота, м	8,720	8,863	9,132	9,401	9,090	8,385
Угол поворота кабины, °	45	45	42	42	45	45
Угол подъема кузова, °	70	70	70	70	70	70
Емкость топливного бака, л	480	480	485	640	560	400
Масса без груза, т	28,3	31,3	27,986	36,153	36,628	23,3
Нагрузка на оси (с грузом), т:						
передняя	17,770	19,170	18,272	23,954	22,668	Н.д.
центральная	21,565	24,550	23,237	29,011	26,357	Н.д.
задняя	21,565	24,550	22,477	28,588	25,603	Н.д.

Примечание: Н.д. — нет данных.

Carrara Srl" (г. Каррара, Италия) (рис. 4) и "WBB Minerals" (Англия) по добыче пластичной глины (рис. 5), самосвалов CAT-740 на карьере "Tarmac Pant Quarry" (Уэльс, Англия) позволяют сделать вывод о надежности и качестве данных машин [4].

В карьере "Tarmac Pant Quarry" (добыча 1,2 млн т/год известняка) самосвалы CAT-740 грузоподъемностью 38 т доставляют горную массу на борт карьера, где она перегружается в передвижную дробилку и конвейером складирована в штабель, откуда подается на дальнейшую переработку. Об-

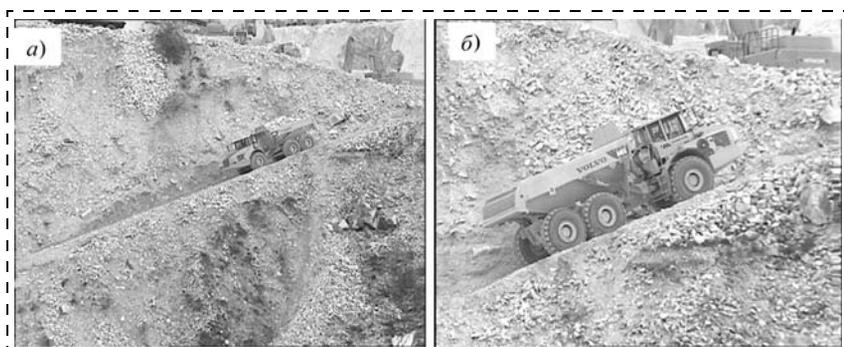


Рис. 4. Самосвал Volvo A40D в условиях нагорного карьера "Marmi di Carrara Srl" при работе в грузовом (а) и порожняковым (б) направлениях (уклон 35 %)



Рис. 5. Самосвалы Volvo A40D в условиях бездорожья на предприятии "WBB Minerals" по добыче пластичной глины

щая высота подъема составляет 100 м, длина трассы на подъем — около 800 м при среднем уклоне 12,5 % при варьировании продольного уклона отдельных участков трассы от 10 до 26 %.

Горно-добывающее предприятие "Marmi di Carrara Srl", разрабатывающее месторождение мрамора нагорным карьером, использует Volvo A40D с раздельным для грузового и порожнякового направлений односторонним движением. Две машины данного класса перевозят 2000 т/сут горной массы. Максимальный угол наклона трассы 35 %. По словам сотрудников (инженеров и водителей) [4], моторный тормоз полностью позволяет контролировать движение самосвала под уклон, исключая необходимость использования рабочих тормозов.

В России ШСС применяют нефте- и газодобывающие компании, осваивающие месторождения в сложных природно-климатических условиях и

условиях бездорожья. Как и за рубежом на открытых горных работах ШСС применяют в основном при производстве строительных материалов: марморные плиты, щебень, глина и т. п.

Одним из примеров железорудной промышленности является комбинат "Магнезит", на котором в настоящее время эксплуатируются десять самосвалов Bell B40D [5], наработавших по 12 000...14 000 моточасов, самосвал Bell B50D и шесть самосвалов Volvo A40F. За 6 мес эксплуатации самосвала Bell B50D его наработка составила более 2500 моточасов. Весь этот период самосвал работал в сложнейших горно-геологических условиях, связанных с транспортировкой горной породы по трассам с уклонами до 15 %, глинистым основанием и перепадами высот до 190..200 м на относительно коротких расстояниях транспортировки.

Технологию доработки глубоких карьеров с применением крутонаклонных съездов одним из первых в мире предложил институт "Якутнипроалмаз" АК "АЛРОСА". Проектные решения были приняты для доработки карьера "Удачный" в 2008 г. [6]. После проведенных совместно с ИГД УрО РАН исследовательских работ [7] было принято решение о применении в качестве транспортного средства ШСС. Были разработаны варианты технологии прохода крутых съездов на карьерах АК "АЛРОСА" с использованием имеющегося горно-транспортного оборудования [6, 8], а также временные рекомендации по безопасной эксплуатации ШСС на крутых уклонах, на горных работах, согласованные с управлением Государственного горного и металлургического надзора [9].

Сложности при внедрении упомянутых выше решений были связаны с тем, что применение инновационной техники и технологий в настоящее время ограничивается целым рядом требований нормативных документов, таких как нормы технологического проектирования, СНиПы, правила безопасности и т. д., разработанных в 1980-х гг.

Реализация проектных решений началась с отстройки крутонаклонного съезда на карьере "Удачный" с 2010 по 2012 г. и приобретения в конце 2011 г. самосвала CAT-740В [10]. В соответствии с данными [10] за время испытаний на трассе с продольным уклоном от 10 до 23,7 % была подтверждена техническая возможность эксплуатации ШСС в тяжелых горно-технических и природно-климатических условиях доработки глубоководных месторождений твердых полезных ископаемых.

В результате проведенных исследований установлены максимальные уклоны при транспорти-

ровании горной массы на подъем и спуск; максимальная скорость движения в порожнем и грузовом направлении на уклоне до 30 %; рациональные безопасные параметры автомобильных съездов (ширина проезжей части, ширина транспортной бермы, уширение проезжей части, высота удерживающего породного вала и др.). Обоснованы технологии строительства и обустройства транспортных съездов. Разработаны меры по предотвращению аварийных ситуаций при движении самосвалов на крутых уклонах, работе в забое, во время погрузочно-разгрузочных и буксировочных работ с учетом погодных условий.

Выполнены исследования по обоснованию технологических схем перехода на повышенные уклоны, отличающихся динамикой сокращаемых объемов выемки вскрышных пород [11]. Установлены области применения повышенных уклонов.

### Выводы

1. ШСС позволяют улучшить экономические показатели открытой разработки и являются перспективным сборочным транспортом при обработке глубоких и нагорных карьеров.
2. Необходимы детальные исследования по обоснованию области и условий эффективной эксплуатации ШСС при разработке глубоководных месторождений твердых полезных ископаемых.
3. Необходим пересмотр нормативной базы, препятствующей широкому применению инновационных техники и технологий.

### Список литературы

1. **Технико-экономические** показатели горных предприятий за 1990—2012 гг. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2013. 361 с.
2. **Российский** импорт шарнирно-сочлененных самосвалов в январе—октябре 2011 года / Компания ID-Marketin. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <http://report.ru/research/118168/>.
3. **Российский** импорт шарнирно-сочлененных самосвалов в 2012 году / Компания ID-Marketin. 2013. [Электронный ресурс]. URL: [http://id-marketing.ru/goods/rossijskij\\_import\\_sgarnirno\\_sochlenennyh\\_samosvalov\\_v\\_2012\\_godu.htm#1](http://id-marketing.ru/goods/rossijskij_import_sgarnirno_sochlenennyh_samosvalov_v_2012_godu.htm#1).
4. **Сочлененные** самосвалы Volvo. Опыт эксплуатации (месторождения в Италии, Англии, Норвегии, России) [Электронный ресурс] / ООО ТЛК "Гросс" — дилер Volvo CE, 2007. DVD. Загл. с экрана.
5. **Презентация BELL B50D**. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gross-ce.ru/news.php?id=31>.
6. **Акишев А. Н., Бабаскин С. Л., Кожемякин А. А., Никитин Р. В.** Развитие технологии проходки и формирования на карьере транспортных съездов крутого уклона // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 12. С. 58—64.

7. **Разработать** безопасные геометрические параметры конструкции крутых транспортных съездов. Разработать и согласовать временные рекомендации по безопасной эксплуатации технологических транспортных средств на крутых уклонах, на горных работах АК "АЛРОСА": отчет о НИР (х/д № 30/08 от 06 мая 2008 года с АК "АЛРОСА" (ЗАО) / ИГД УрО РАН; рук. Глебов А. В. Екатеринбург, 2008. 101 с.

8. Пат. **2376471 РФ**, МПК E21C41/26 (2006.01), Способ проведения крутой траншеи / Береснев В. А., Глебов А. В., Кармаев Г. Д.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (RU). № 2008117529/03; заяв. 30.04.2008; опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35. 7 с.

9. **Временные** рекомендации по безопасной эксплуатации шарнирно-сочлененных самосвалов на крутых

уклонах, на горных работах АК "АЛРОСА" (ЗАО). Согласовано начальником управления Государственного и металлургического надзора № 13-02-ИД-01145-2008 / ИГД УрО РАН: Екатеринбург, 2008. 11 с.

10. **Зырянов И. В., Цымбалова А. И.** Испытания САТ-740В на крутонаклонных съездах карьера "Удачный" АК "АЛРОСА" // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 9. С. 22—25.

11. **Лель Ю. И., Дунаев С. А.** Перспективы применения полноприводных шарнирно-сочлененных автосамосвалов на карьерах Урала / Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса: Материалы науч.-практ. конф., 3 сентября 2013 г., В-Пышма. УрФУ. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2013. С. 17—18.

---

УДК 622.684:629.622.271

**И. В. Зырянов**, д-р техн. наук, зам. директора по научной работе, **С. В. Решетников**, вед. инж., Институт "Якутнипроалмаз", г. Мирный

E-mail: ZyryanovIV@alrosa.ru, ReshetnikovSV@alrosa.ru

## **К вопросу о выборе вида карьерных автосамосвалов для кимберлитовых карьеров Якутии**

---

*Описано развитие транспортных систем на кимберлитовых карьерах Якутии. Приведена динамика изменения технико-эксплуатационных показателей работы большегрузных карьерных автосамосвалов АК "АЛРОСА" (ОАО). Представлены виды транспортных систем в Компании. В результате выполненных исследований обозначены основные задачи по выбору вида транспорта в перспективе отработки месторождений.*

**Ключевые слова:** кимберлитовый карьер, транспортная система, автосамосвал, технико-эксплуатационные показатели работы.

**I. V. Zyryanov, S. V. Reshetnikov**

## **To the Issue of Selecting the Type of Mine Dump Trucks for Kimberlite Open Pits of Yakutia**

---

*The article describes the development of retrieval systems in kimberlite open pits of Yakutia. Alteration dynamics of operational activities of ALROSA large mine dump trucks is provided. Types of retrieval systems in the Company are presented. As a result of performed investigations basic tasks on mode of transport selection in view of Extreme North kimberlite deposits development are specified.*

**Keywords:** kimberlite open pit, retrieval system, dump truck, operational activities.

**В** середине прошлого столетия на заре становления алмазодобывающей промышленности были обозначены основные и приоритетные направления развития производства и способы их реализации. Во многом технологические процессы добычи алмазосодержащей руды определялись спецификой ведения горных работ в условиях Крайнего Севера и часто требовали новых и нестандартных решений. Однако применительно к процессу транспорти-

рования горной массы подход был вполне традиционный. Высокая мобильность, быстрый ввод в эксплуатацию и сравнительно небольшие капитальные вложения на приобретение, столь важные при отсутствии развитой инфраструктуры на начальном периоде отработки месторождений, предопределили использование в качестве монотранспорта карьерных автосамосвалов.

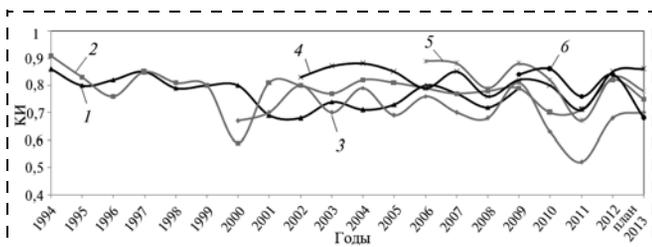


Рис. 1. Изменение коэффициента использования (КИ) технологического автотранспорта Айхальского ГОКа<sup>1</sup>: 1 — Б-75125; 2 — Haul Pak D-510E; 3 — Б-75131; 4 — Unit Rig MT 3300 DC; 5 — Unit Rig MT 3300 AC; 6 — Б-75137

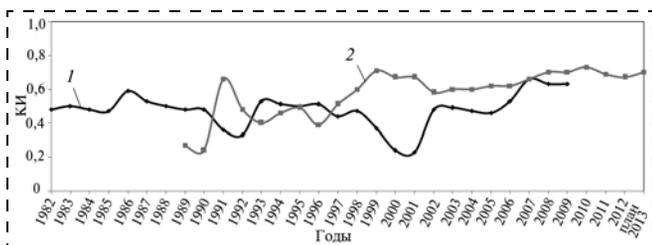


Рис. 2. Изменение КИ технологического автотранспорта Удачнинского ГОКа: 1 — HD-1200; 2 — CAT-785

В настоящее время многолетняя практика применения автосамосвалов на кимберлитовых карьерах Якутии позволила создать уникальную базу для объективной оценки и анализа эффективности работы технологического транспорта в сложных климатических и горно-технических условиях. Постоянное совершенствование горных машин и оборудования нашло отражение в виде передовых моделей автосамосвалов, вводимых в разные годы на месторождениях ПО "Якуталмаз", а потом и АК "АЛРОСА" (Компания).

Как известно, в качестве основных технико-эксплуатационных и экономических показателей работы карьерного автотранспорта принято считать коэффициенты технической готовности, использования парка, грузоподъемности, среднегодовые показатели грузооборота и пробега, а также топливную экономичность и ходимость шин. Данные показатели в целом определяют качественный уровень машины и эффективность ее эксплуатации. Мониторинг показателей работы технологического транспорта в Компании за последние годы позволяет определить основные тенденции их изменения в динамике развития горных работ.

На рис. 1—10 представлены графики, отражающие динамику изменения показателей работы самосвалов особо большой грузоподъемности Айхальского и Удачнинского ГОКов (АК "АЛРОСА").

<sup>1</sup> На этом и последующих рисунках марка "БелАЗ" обозначена "Б".

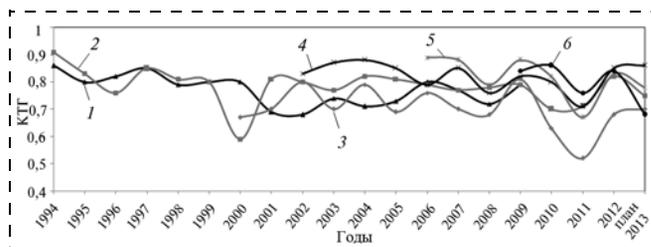


Рис. 3. Изменение коэффициента технической готовности (КТГ) технологического автотранспорта Айхальского ГОКа: 1 — Б-75125; 2 — Haul Pak D-510E; 3 — Б-75131; 4 — Unit Rig MT 3300 DC; 5 — Unit Rig MT 3300 AC; 6 — Б-75137

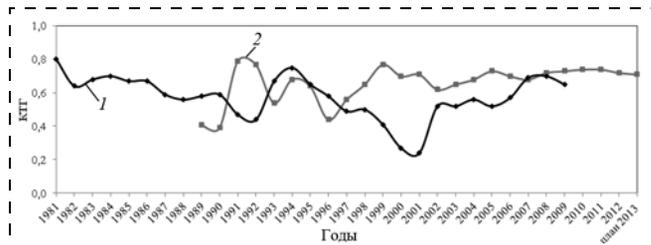
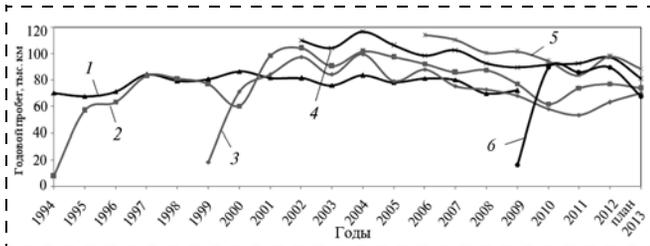


Рис. 4. Изменение КТГ технологического автотранспорта Удачнинского ГОКа: 1 — HD-1200; 2 — CAT-785

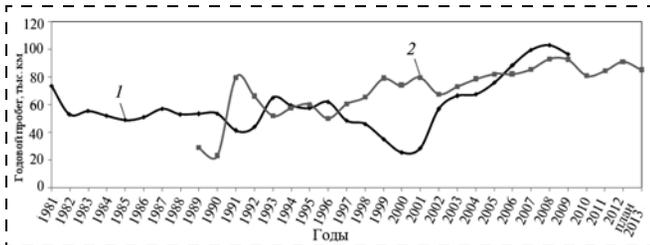
В целом представленные показатели имеют положительную динамику, которая объясняется как совершенствованием технического уровня карьерных автосамосвалов, так и реализацией организованного потенциала предприятия.

В настоящее время опыт эксплуатации транспорта в условиях кимберлитовых карьеров показал, что автосамосвалы обладают весьма гибкими свойствами в плане приспособляемости к изменяющимся условиям эксплуатации, которые, в свою очередь, определяются заложенными проектными решениями обработки трубок. Так, например, в АК "АЛРОСА" существующие проекты предусматривают ведение работ открытым способом до перспективной глубины 1000 м. При этом транспортные системы в Компании в зависимости от месторождений условно делятся на три вида:

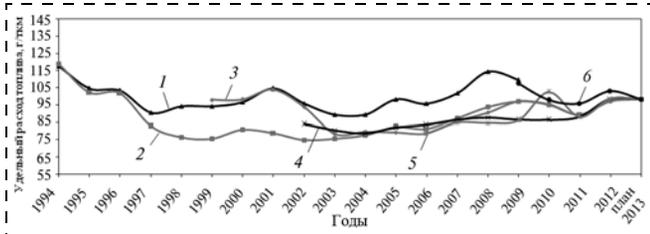
- к первому относится трубка "Комсомольская" Айхальского ГОКа, на которой обработка основной части карьера происходит с применением традиционной техники и технологии горных работ — в частности используются автомобили с колесной формулой 4×2. Доработку нижних горизонтов до глубины 200 м планируется проводить с применением шарнирно-сочлененных самосвалов (ШСС) с колесной формулой 6×6. Проектная глубина карьера — 460 м;
- наиболее показательным примером второго вида транспортной системы является трубка "Удачная" Удачнинского ГОКа. В данном случае, по-



**Рис. 5. Изменение годового пробега технологического автотранспорта Айхальского ГОКа:**  
 1 — Б-75125; 2 — Haul Pak D-510E; 3 — Б-75131; 4 — Unit Rig MT 3300 DC; 5 — Unit Rig MT 3300 AC; 6 — Б-75137



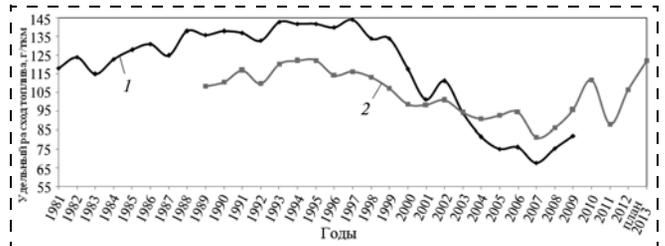
**Рис. 6. Изменение годового пробега технологического автотранспорта Удачинского ГОКа:**  
 1 — HD-1200; 2 — CAT-785



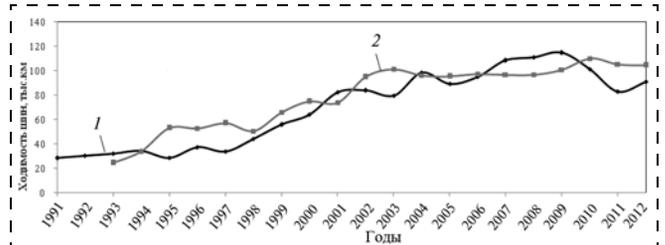
**Рис. 7. Динамика изменения удельного расхода топлива автосамосвалов Айхальского ГОКа:**  
 1 — Б-75125; 2 — Haul Pak D-510E; 3 — Б-75131; 4 — Unit Rig MT 3300 DC; 5 — Unit Rig MT 3300 AC; 6 — Б-75137

мимо использования представленных выше технологии транспортирования и типов самосвалов, отработка месторождения ведется параллельно подземным способом. Глубина отработки — 650 м;

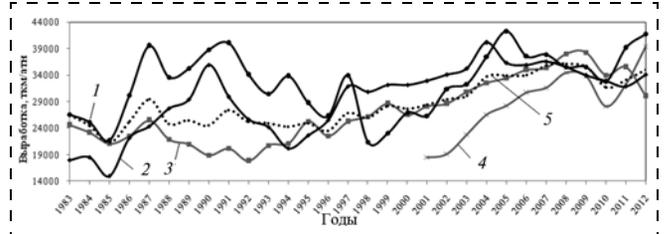
- к третьему виду можно отнести трубку "Юбилейная" Айхальского ГОКа. По аналогии с перечисленными ранее вариантами транспортную систему предполагается разделить на два, уже известных этапа — с применением самосвалов с колесной формулой 4×2 до глубины 540 м и 6×6 до глубины 750 м. Однако данный карьер имеет сырьевой потенциал для отработки открытым способом до 1000 м. При такой глубине традиционная технология ведения горных работ не позволяет обеспечить требуемые показатели эффективности проекта. Таким образом, поиск альтернативной технологии отбойки руды, ее погрузки и транспортирования на сверхглубоких карьерах является актуальной научно-технической задачей.



**Рис. 8. Динамика изменения удельного расхода топлива автосамосвалов Удачинского ГОКа:**  
 1 — HD-1200; 2 — CAT-785



**Рис. 9. Динамика изменения ходимости КГШ 33.00.R51 автосамосвалов Удачинского (1) и Айхальского (2) ГОКов**



**Рис. 10. Динамика изменения выработки технологического автотранспорта в подразделениях Компании:**  
 1 — Мирнинский ГОК; 2 — Айхальский ГОК; 3 — Удачинский ГОК; 4 — Ньюбинский ГОК; 5 — в среднем по Компании

Как показала практика, наиболее перспективной моделью самосвала в классе грузоподъемности 136 т, на которую в дальнейшем планируется направленность при формировании парка технологического транспорта, является самосвал Unit Rig MT 3300 AC с электромеханической трансмиссией производства "Terex Mining", положительно зарекомендовавший себя в сложных климатических и горно-технических условиях Крайнего Севера. Доработку нижних горизонтов (до глубины 720 м) с продольными уклонами до 240 ‰ планируется проводить самосвалами CAT-740В производства "Caterpillar" грузоподъемностью 38 т. Ориентация на данные автомобили характерна также и для других крупных кимберлитовых карьеров Якутии.

Помимо проблемы доработки коренных месторождений открытым способом, перед АК "АЛРОСА" стоит и другая, не менее важная задача. В целях восполнения минерально-сырьевой базы в настоящее время перспективным является вовлечение в

отработку удаленных месторождений алмазосодержащих руд и песков с низким содержанием полезного ископаемого.

В 2013 г. институтом "Якутнипроалмаз" совместно с ИГД УрО РАН были проведены исследования по выбору и обоснованию рациональной транспортной системы для удаленных месторождений. По результатам работы подъем горной массы на поверхность был рекомендован карьерными самосвалами грузоподъемностью 40...136 т, а транспортирование руды на существующие обогатительные фабрики — магистральными самосвалами (автопоездами) или грузовыми подвесными канатными дорогами. Более глубокая проработка варианта с магистральными самосвалами специалистами института "Якутнипроалмаз" позволила определить

наиболее рациональную модель и характеристики автопоезда — Scania P620CB 8×4 ENZ с двумя прицепами АК 48 общей грузоподъемностью 97 т.

В целом проблему выбора вида карьерных автосамосвалов и транспортирования горной массы в Компании необходимо рассматривать в двух направлениях:

- доработка коренных месторождений открытым способом;
- транспортировка руды с удаленных месторождений.

Таким образом, реализация поставленных задач в перспективе будет способствовать эффективности транспортного процесса и, следовательно, будет рациональным шагом к минимизации стоимости перевозок.

---

УДК 622.684

**П. И. Тарасов**, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., **А. Г. Журавлев**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., **В. А. Черепанов**, мл. науч. сотр., **М. В. Исаков**, мл. науч. сотр., **В. Р. Баланчук**, мл. науч. сотр., ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург,  
**А. Н. Акишев**, канд. техн. наук, нач. комплексного отд., **С. Л. Бабаскин**, зав. лаб., Институт "Якутнипроалмаз", г. Мирный

E-mail: juravlev@igduran.ru

## Проблемы магистрального транспортирования руды от удаленных кимберлитовых месторождений<sup>1</sup>

---

*В связи с необходимостью расширения ресурсной базы рассматривается освоение новых кимберлитных месторождений, удаленных от существующей производственной инфраструктуры, с доставкой руды от карьеров к существующим обогатительным фабрикам. Приведены результаты исследований выбора вида магистрального транспорта для указанных условий.*

**Ключевые слова:** промышленный транспорт, транспортные системы карьеров, магистральный транспорт, область применения транспорта, подвесная канатная дорога, конвейер, автопоезд, железнодорожный транспорт, технико-экономические показатели.

**P. I. Tarasov, A. G. Juravlev, V. A. Cherepanov, M. V. Isakov, V. R. Balanchuk, A. N. Akishev, S. L. Babaskin**

## Mainline Ore Transportation Problems on the Remote Kimberlite Fields

---

*In consider the development of new kimberlite deposits remote from the existing industrial infrastructure, including shipping ore from the quarries to the existing concentrators, due to the necessity of the expanding the resource base. Results of researches of the mainline type choosing for these conditions are described in the article.*

**Keywords:** industrial transport, open cast transportation systems, mainline transport, transport applications, aerial ropeway, conveyor, road train, railway transport, technical and economic indicators.

Расширение минерально-сырьевой базы Компании "АЛРОСА" невозможно без вовлечения в отработку

---

<sup>1</sup> В исследованиях принимали участие Г. Д. Кармаев, А. А. Доманин, И. Г. Сумина.

новых месторождений. Зачастую эти месторождения представлены небольшими либо довольно бедными кимберлитовыми трубками, расположенными удаленно от центров с развитой инфраструктурой (табл. 1). Строительство обогатительных про-

изводств на таких площадках, как правило, нецелесообразно, в то же время транспортировка руды автотранспортом на существующие обогатительные фабрики (ОФ) требует значительных эксплуатационных затрат. Одной из возможностей повысить эффективность обработки месторождений в таких условиях является применение более дешевых видов магистрального транспорта для доставки руды от месторождений до существующих обогатительных фабрик.

С этой целью институтом "Якутнипроалмаз" и ИГД УрО РАН были проведены совместные исследования по обоснованию предпочтительных видов транспорта для доставки руды от удаленных кимберлитовых месторождений к обогатительным фабрикам.

Проблема выбора вида технологического транспорта многопланова и требует решения ряда сложных и комплексных задач [1].

Климат района Западной Якутии, где расположены рассматриваемые месторождения, резкоконтинентальный с продолжительным зимним периодом и коротким умеренно теплым, иногда жарким летом. Абсолютный максимум температур (+35 °С) фиксируется в июле, абсолютный мини-

мум (–65 °С) — в январе. Среднегодовая температура –11 °С. Повсеместно развита многолетняя мерзлота. Глубина сезонной оттайки варьирует от 0,2 до 1,5...2,0 м. Снежный покров устанавливается во второй половине сентября и сходит в конце мая. Средняя мощность снежного покрова на открытых местах составляет 43 см, в тайге — 53 см. Среднегодовая сумма осадков — 234 мм. Господствующее направление ветров — южное и северо-западное зимой и северо-восточное — летом. Число дней в году для района г. Удачный с температурой ниже –40 °С составляет от 20 до 40. При этом остановка работ транспортного оборудования осуществляется при температуре окружающего воздуха ниже –55 °С.

Параметры некоторых трасс под строительство автомобильных и железных дорог к рассматриваемым удаленным месторождениям, характеристика речных преград приведены в табл. 2. Профили трасс представлены на рис. 1–3.

Анализ исходных данных показал следующее:

- вблизи г. Удачный и имеющихся там обогатительных фабрик расположены три рассматриваемых группы месторождений (трубки "Даль-

Таблица 1

Геотехнологические параметры бедно-товарных месторождений алмазов

Параметры	"Зарница"	Верхняя Муна	"Дальняя"	"Иреляхская"	"Красно-пресненская"
Объемный вес руды, т/м <sup>3</sup>	2,32	2,42	2,55	2,5	2,36
Коэффициент разрыхления в развале после взрывания			1,4		
Возможная производительность, млн т/год	5,0	3,0	0,8	0,35	1,5
Срок существования грузопотока, лет	20	25	11	16	15
Доводочная ОФ	№ 12	№ 12	№ 12	№ 12	№ 14 (№ 8)
Удаленность от доводочной ОФ, км (по данным "Якутнипроалмаз")	20	135	30	32	30 (45)
Максимальный размер куска руды, принимаемой ОФ, мм	1200	1200	1200	1200	1200 (700)

Таблица 2

Параметры речных преград для трасс и протяженность отстраиваемых автодорог

Параметры	Все, кроме ЖД	Карьерные автосамосвалы, тяжелые автопоезда			Автосамосвалы общего назначения <sup>1</sup>		Все, кроме ЖД	Все	ЖД		
		"Иреляхская"	"Дальняя" <sup>1</sup>	"Иреляхская"	"Дальняя" <sup>2</sup>	"Красно-пресненская"			"Зарница"	"Красно-пресненская"	"Дальняя" <sup>2</sup>
Месторождение	"Зарница"	"Иреляхская"	"Дальняя" <sup>1</sup>	"Иреляхская"	"Дальняя" <sup>2</sup>	"Красно-пресненская"	Верхняя Муна	"Зарница"	"Красно-пресненская"	"Дальняя" <sup>2</sup>	
Суммарная протяженность мостов, м	120	75	0	0	0	170	465	120	0	0	
Средневзвешенная глубина рек, м	0,9	0,1667	0	0	0	0,6765	0,433	0,9	0	0	
Годовой объем перевозок, тыс. т	5000	0,35	0,8	0,35	0,8	1500	3000	5000	1500	800	
Дальность транспортирования, км	18,1	22,7	29,4	24,3	30,5	28,5	152	28,3	46,6	34,4	
Длина отстраиваемых дорог, км	18,1	22,7	9	6,8	9	28,5	152	28,3	46,6	13,9	

<sup>1</sup> Вариант трассы автосамосвалов общего назначения с малой осевой нагрузкой с выездом на автодорогу общего пользования Айхал-Удачный.  
<sup>2</sup> Во всех вариантах рассматривается транспортирование от трубки "Дальней" до трубки "Иреляхской" и далее по единой автодороге до ОФ №12.

няя" и "Иреляхская", расположенные близко друг от друга, трубки "Зарница" и месторождения Верхне-Мунского рудного поля), они вероятнее всего будут обрабатываться силами Удачинского ГОКа;

- грузопоток руды с трубки "Краснопресненская" ориентирован на ДОФ № 8 в п. Айхал или на ДОФ № 14 близ карьера трубки "Юбилейная" и будет обрабатываться силами Айхальского ГОКа;
- наиболее удаленными являются месторождения Верхне-Мунского рудного поля, расположенные в 150 км северо-восточнее г. Удачный;
- рельеф местности относительно спокойный без резких перепадов, скал и глубоких и широких водных преград, существенной проблемой является наличие слабонесущих грунтов, болот и рек, в том числе много паводковых;
- объем грузопотоков стабильный за все годы эксплуатации месторождений за исключением карьеров Верхне-Мунского поля, по которым в первые 7 лет идет наращивание производственной мощности;
- наиболее сложными из представленных вариантов являются грузопотоки с карьеров "Зарница" из-за существенного объема перевозок и Верхне-Мунского поля из-за удаленности при достаточно большом объеме перевозок;
- трубки "Дальняя" и "Иреляхская" расположены относительно недалеко друг от друга (расстояние по прямой порядка 10 км) и имеют незначительные объемы добычи (соответственно 0,8 и 0,35 млн т/год), поэтому предпочтительна их одновременная совместная отработка с формированием единого грузопотока руды на ДОФ. Анализ сопутствующих факторов:
- имеются резервы мощности по электроэнергии, в частности от Вилюйской ГЭС, учитывая, что это гидроэлектростанция, себестоимость производства электроэнергии, вероятно, находится на уровне 0,8...1 руб./(кВт·ч), следовательно, при значительных объемах потребления стоимость электроэнергии может быть понижена;
- наличие низких температур в зимний период потребует выбора особого режима работы некоторых непрерывных видов транспорта (конвейера и подвесной канатной дороги) с остановкой их работы при температуре ниже  $-40...-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зависимости от прочностных характеристик применяемых узлов, эти простои должны быть компенсированы за счет большей их производительности.

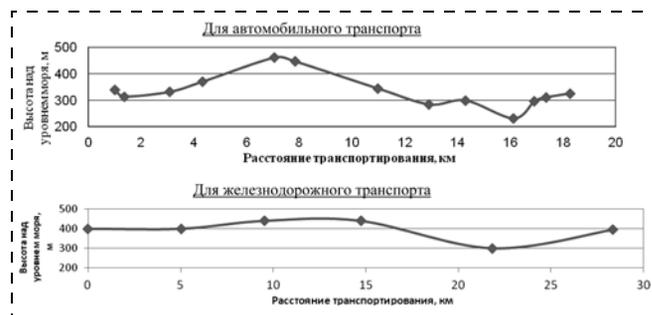


Рис. 1. Профиль трассы рудный склад трубки "Зарница" — рудный склад ОФ № 12

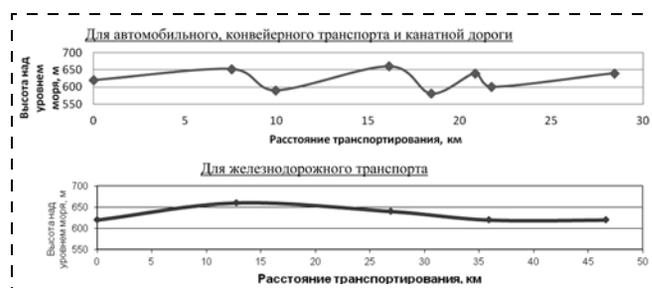


Рис. 2. Профиль трассы рудный склад трубки "Краснопресненская" — рудный склад ОФ № 8

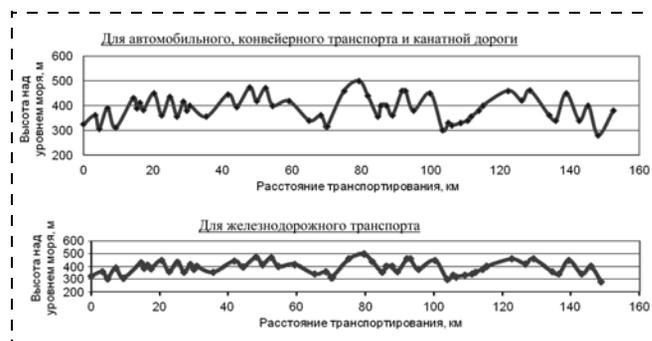


Рис. 3. Профиль трассы рудный склад Верхне-Мунского месторождения — рудный склад ОФ № 12

Для природно-климатических условий разработки сравнительно бедных кимберлитовых трубок Компании "АЛРОСА", удаленно расположенных от центров с развитой инфраструктурой, выбор наиболее эффективного магистрального вида транспорта для доставки руды в объеме 0,35...5,0 млн т/год на расстояние 20...150 км от карьера до обогатительной фабрики является весьма сложной задачей.

Однозначно выбрать определенный вид транспорта по литературным источникам и предприятиям-аналогам не представляется возможным ввиду отличительных особенностей применения каждого из них и особенностей эксплуатации: суровые климатические условия Якутии; отсутствие развитой инфраструктуры; специфические условия применения в качестве магистрального транспорта. В результате проведенного анализа для сравнения были

отобраны следующие виды транспорта в качестве магистрального:

- 1) карьерные автосамосвалы;
- 2) троллейбусы и дизель-троллейбусы на базе карьерных автосамосвалов;
- 3) автосамосвалы и автопоезда общего назначения;
- 4) ленточные, ленточно-канатные, многоприводные конвейеры;
- 5) грузовая подвесная канатная дорога;
- 6) железнодорожный транспорт узкой и нормальной колеи (с электровозной и тепловозной тягой);
- 7) болотоходы (вездеходы).

**Обоснование областей применения различных видов транспорта.** Исходя из сложившихся условий выбран следующий диапазон условий транспортирования: годовой объем перевозок от 0,2 до 5 млн т/год, дальность транспортирования от 10 до 160 км.

Обоснование областей применения проведено в следующем порядке:

- на основании технико-экономических расчетов сформирована база данных капитальных и эксплуатационных затрат во всем рассматриваемом диапазоне условий;
- при различных сроках отработки карьера рассчитаны следующие показатели: дисконтированные затраты, приведенные затраты, удельные суммарные затраты на 1 т перевезенной горной массы;
- на основании сравнения приведенных выше экономических показателей определены предпочтительные виды транспорта по критерию минимума затрат во всем диапазоне условий;
- с учетом технических и технологических особенностей видов транспорта обоснованы области их предпочтительного применения.

Расчет чистых дисконтированных затрат по видам транспорта проводился для различного срока существования грузопотока (продолжительности отработки карьера): 5, 10, 20, 30 лет. Срок строительства транспортных коммуникаций (осуществления первоначальных капитальных затрат) принимался равным двум годам.

На основании расчетов сделан вывод, что при коротких сроках отработки месторождений (до 5 лет) и малом грузообороте (до 0,56 млн т/год) преимущество имеет самоходный высокопроходимый транспорт (при расчетах рассматривался снегоболотоход) за счет минимальных затрат на строительство транспортных коммуникаций (автодорог).

При больших объемах перевозок возрастают эксплуатационные затраты, поэтому преимущество получают автопоезда большой грузоподъемности, даже с учетом необходимости строительства автодорог.

Также очевидно, что при объемах перевозок до 1,5 млн т/год и расстояниях более 30...70 км наименьшие расчетные дисконтированные затраты имеют подвесные канатные дороги, однако их применение на большие расстояния проверено только в благоприятных климатических условиях, а использование в условиях сурового климата Якутии вероятнее всего проблематично. В частности, ожидаемы существенные простои при неплановых ремонтах, возможны разрывы несущих канатов из-за больших температурных деформаций, безусловно, существенную проблему будет составлять примерзание транспортируемой руды к вагонеткам и др.

С увеличением срока отработки карьера преимущество получают многозвенные автопоезда грузоподъемностью 100 т и более, а при объемах перевозок более 3,5 млн т/год — железнодорожный транспорт. Причем за счет большей грузоподъемности составов нормальной колеи 1520 мм узкоколейная железная дорога несмотря на меньшие капитальные затраты не будет иметь существенных преимуществ. Однако нельзя исключать ее из дальнейшего рассмотрения в ТЭО и проектах, поскольку при детальном учете всего многообразия факторов она может оказаться более выгодным видом транспорта, в том числе за счет меньшей трудоемкости строительства.

Результаты укрупненного технико-экономического анализа применения различных видов транспорта в качестве магистрального для транспортирования необогащенной руды от удаленных кимберлитовых месторождений (на примере месторождений Верхне-Мунского рудного поля) приведены на рис. 4.

На рис. 4 приняты следующие обозначения:

- ГПКД — грузовая подвесная канатная дорога;
- КАС90 — карьерный автосамосвал с дизельным двигателем (цифра обозначает грузоподъемность, т);
- ДТр90 — дизель-троллейбус (цифра обозначает грузоподъемность, т);
- Тр90 — троллейбус на базе карьерного автосамосвала без дизельного двигателя (цифра обозначает грузоподъемность, т);
- ТрА90 — троллейно-аккумуляторный автосамосвал с возможностью автономного движения на

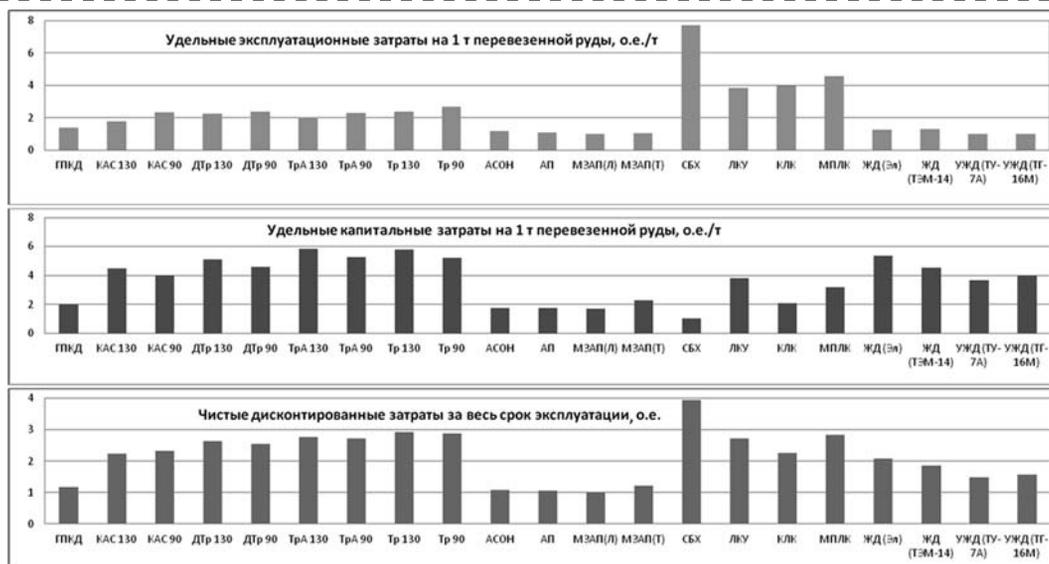


Рис. 4. Диаграммы основных технико-экономических показателей по видам транспорта для транспортировки руды от карьеров Верхне-Мунского рудного поля (о. е. — денежные затраты в относительных единицах)

тяговом аккумуляторе энергии (цифра обозначает грузоподъемность, т);

— АСОН — автосамосвал общего назначения, пригодный для движения по автодорогам общего пользования, расчеты проведены для автосамосвалов грузоподъемностью 40 т;

— АП — автополуприцепные автопоезда на базе седельных тягачей и полуприцепов для автодорог общего пользования, расчеты проведены для полуприцепов грузоподъемностью 60 т;

— МЗАП(Л) — многозвенные автопоезда легкого типа на базе тягачей и прицепов для автодорог общего пользования, расчеты проведены для автопоездов грузоподъемностью 150 т;

— МЗАП(Т) — многозвенные автопоезда тяжелого типа на базе тягачей и приводных прицепов для специальных технологических автодорог с высокой осевой нагрузкой, расчеты проведены для автопоездов грузоподъемностью 500 т;

— СБХ — снегоболотоходы гусеничные грузоподъемностью 10 т;

— ЛКУ — ленточные конвейерные установки;

— КЛК — канатно-ленточные конвейеры;

— МПЛК — многоприводные ленточные конвейеры;

— ЖД(Эл) — железнодорожный транспорт нормальной колеи 1520 мм с электротягой, в качестве базового варианта рассмотрены тяговые агрегаты НП-1 с думпками 2ВС-105 грузоподъемностью 105 т;

— ЖД(ТЭМ-14) — железнодорожный транспорт нормальной колеи 1520 мм с тепловозами ТЭМ-14 и думпками 2ВС-105 грузоподъемностью 105 т;

— УЖД(ТУ-7А) — узкоколейный железнодорожный транспорт колеи 1067 мм с тепловозами ТУ-7А и думпками грузоподъемностью 22 т;

— УЖД(ТГ-16М) — узкоколейный железнодорожный транспорт колеи 1067 мм с тепловозами ТГ-16М и думпками грузоподъемностью 40 т.

Результаты технико-экономических расчетов показали следующее.

1. По технико-экономическим показателям установлено, что предпочтительно применение грузового подвижного состава общего назначения (автопоезда, в том числе многозвенные). Они характеризуются наименьшими затратами в рассматриваемых условиях ввиду низких капитальных затрат на автодороги, мосты и приобретение машин.

2. При сроках отработки карьера до 5 лет и объемах перевозок до 0,5 млн т/год целесообразно рассматривать применение машин высокой проходимости без строительства круглогодичных автодорог. Это могут быть специальные гусеничные снегоболотоходы, либо машины иной конструкции, в том числе шарнирно-сочлененные автосамосвалы, что можно установить конкретными расчетами.

3. Расчетные значения технико-экономических показателей конвейерного транспорта, подвесных канатных дорог и железнодорожного транспорта на данном этапе затруднительно, поскольку отсутствуют данные по инженерным изысканиям на местности. Также отсутствуют фактические данные об эксплуатации этих видов транспорта в аналогичных климатических условиях (в частности ключевым вопросом при эксплуатации подвесных канатных дорог и конвейеров может стать проблема

примерзания при длительном времени транспортирования руды в зимнее время на большое расстояние). Оптимизация технических решений по этим видам транспорта для каждого конкретного месторождения может дать снижение как капитальных, так и эксплуатационных затрат.

4. Выбор наиболее экономичного вида транспорта для конкретного месторождения должен базироваться на расчете по конкретному месторождению с конкретными горно-техническими условиями и по уточненным инженерно-геологическим изысканиям. При этом критериями должны служить предпочтительные экономические показатели, например, наименьший срок окупаемости, наибольшая прибыль от месторождения, наименьшие капитальные затраты и т. п., в том числе необходимо учитывать как затраты, так и приток денежных средств по всем процессам производства, а не только по транспортному переделу. Выбор предпочтительного вида транспорта существенно зависит от срока отработки карьера и принятых конкретных параметров инвестиционного проекта, в частности заложенного срока окупаемости инвестиций. При малых сроках выгоднее применять виды транспорта с минимальными капитальными затратами, при длительных сроках эксплуатации и возможности увеличить срок возврата вложенных инвестиций преимущество получают виды транспорта со значительными капитальными, но низкими эксплуатационными затратами.

5. Применение железнодорожного транспорта рационально при значительном объеме перевозок (более 4...5 млн т/год) либо для относительно крупных карьеров, либо при создании единой сети железнодорожного транспорта для нескольких месторождений при одновременной их отработке. Применение узкоколейной или специальной железной дороги нормальной колеи может привести к снижению затрат на железнодорожный транспорт и расширить область его применения только в том случае, когда будут оптимизированы параметры подвижного состава по тяговым и массогабаритным показателям и грузоподъемности вагонов. Существенным преимуществом железнодорожного транспорта является возможность относительно дешевой доставки на удаленные месторождения материалов и крупногабаритного оборудования, людей. Дополнительным преимуществом может служить возможность привлечения государственного софинансирования строительства железных дорог в регионе в целях развития всей инфраструктуры региона.

Железнодорожный транспорт имеет существенные проблемы применения из-за ряда специфических особенностей рассматриваемых месторождений: относительно малый срок отработки карьеров, после которого эту железную дорогу нужно будет демонтировать; незначительный объем перевозок; сложности с доставкой крупногабаритного и тяжеловесного оборудования; удаленность от существующих железных дорог.

6. Область применения троллейвозного транспорта лежит в сфере значительных объемов перевозок (более 5 млн т/год) при продолжительных сроках эксплуатации месторождения (15—20 лет), средними расстояниями транспортирования (10...50 км) по трассам со сложным рельефом (со значительными уклонами на подъем). В связи с этим рационально использовать троллейвозный транспорт с вводом его в карьер до перегрузочного пункта. В настоящее время стоимость троллейвозов и троллейно-аккумуляторных самосвалов превосходит стоимость дизельных автосамосвалов. Однако по прогнозам специалистов, стоимость мощных преобразователей и аккумуляторов энергии в ближайшие 5 лет существенно уменьшится. Поэтому капитальные затраты по этому виду транспорта могут снизиться. Также разработка специальных конструкций быстроустанавливаемых опор контактных сетей снизит как затраты на строительство инфраструктуры, так и эксплуатационные затраты.

7. Грузовые подвесные канатные дороги имеют одни из самых низких эксплуатационных затрат на перевозку руды (руб./т, руб./(т·км)) при относительно высоких единовременных капиталовложениях. При больших расстояниях усложняются их контроль, обслуживание и ремонт, снижается надежность за счет увеличения количества приводных участков, увеличивается количество обслуживающего персонала.

Применение ГПКД ограничивается рядом организационно-технических проблем:

- большой объем оборудования и материалов для изготовления опор, что приводит к существенному удорожанию линии из-за стоимости доставки (для решения проблемы можно рассмотреть вариант изготовления опор на месте);
- эффективность ГПКД в наибольшей степени проявляется при значительной изменчивости рельефа, перепадах высот, водных преградах, а в рассмотренных вариантах трасс перепады высот и сложность рельефа местности высокие.

Отсутствует мировой опыт использования грузовых подвесных канатных дорог в условиях низких температур (до  $-45...-65$  °С), поэтому при рассмотрении ГПКД рекомендуется провести испытание на опытно-промышленном участке на короткой трассе в условиях территории с развитой инфраструктурой, в целях определения прежде всего технической готовности и надежности систем.

8. Важным недостатком поточных видов транспорта (конвейеры и ГПКД) является необходимость остановки линий при низких температурах (ниже  $-40$  °С), что влияет на коэффициент использования оборудования, увеличение его мощности и приводит к увеличению стоимости.

9. Во всех рассматриваемых диапазонах расстояний транспортирования и объемов перевозок, а также с учетом суровых климатических условий применение конвейеров экономически нецелесообразно.

10. Себестоимость перевозок по видам транспорта также существенно зависит от дальности и объема перевозок, а также принятой схемы транспорта, его технических параметров. Ключевым показателем в оценке себестоимости являются удельные затраты на транспортирование 1 т руды, поскольку оценка по тонно-километровой работе может привести к искусственному завышению себестоимости 1 ткм за счет более короткой трассы, например для ГПКД.

11. Таким образом, на данный момент предпочтительно рассматривать применение для перевозки руды от удаленных месторождений к обогащательным фабрикам автопоездов (в том числе многозвенные с активными осями), созданных на базе стандартных тягачей и специализированных полуприцепов и прицепов большой грузоподъемности (до 100...150 т). В этом варианте затраты на строительство и содержание автодорог сокращаются по сравнению с карьерными автосамосвалами, при этом обеспечиваются высокая мобильность, надежность системы (при выходе из строя нескольких машин остальные продолжают транспортировку руды), малые капитальные затраты и относительно невысокие эксплуатационные затраты. Строительство дорог обеспечит дополнительно возможность круглогодичной доставки грузов и материалов на карьер.

Возможен вариант использования сезонной перевозки руды только в зимнее время по зимникам, что однако повлечет увеличение парка машин, которые в летнее время будут не востребованы.

12. Учитывая, что удаленные месторождения характеризуются относительно малыми запасами, целесообразно осуществлять их отработку группами. При этом в разработку могут быть вовлечены малые трубки за счет вскрытия крутонаклонными съездами с начала разработки и на всю глубину, что обеспечит минимальный коэффициент вскрыши. Транспортными машинами для крутонаклонного вскрытия могут служить гусеничные или шарнирно-сочлененные самосвалы [2—4].

13. Целесообразно рассмотреть вариант комплексного развития сети специальной железной дороги, которая будет иметь нормальную колею (1520 мм), но подвижной состав будет меньшей массы и грузоподъемности по сравнению с общераспространенным на МПС. Это позволит снизить требования к насыпи, верхнему строению пути, а следовательно, затраты на строительство в условиях Якутии. Наличие легкого железнодорожного транспорта позволит существенно снизить затраты на доставку материалов и грузов в населенные пункты и карьеры. Это тем более актуально, если рассматривать строительство железнодорожной ветки Ленск—Мирный—Удачный, которая будет иметь уровень государственной важности, учитывая, что относительно недавно введен в эксплуатацию участок железной дороги Беркакит—Томмот—Нижний Бестях.

#### Список литературы

1. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. Новосибирск: Наука, 1989. 240 с.
2. Чаадаев А. С., Акишев А. Н., Бахтин В. А., Бабакин С. Л. Схемы вскрытия и отработки глубоких горизонтов алмазных карьеров крутонаклонными выработками // Горная промышленность. 2008. № 2. С. 71—74.
3. Акишев А. Н., Зырянов И. В., Заровняев Б. Н., Тарасов П. И., Журавлев А. Г. Техничко-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазорудных карьеров // Горный журнал. 2012. № 12. С. 39—43.
4. Тарасов П. И., Журавлев А. Г., Фурин В. О. Обоснование технологических параметров углубочного комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 9. С. 2—10.

**В. Л. Яковлев**, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН, советник РАН, гл. науч. сотр.,  
**В. А. Черепанов**, мл. науч. сотр.,  
ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

E-mail: yakovlev@igduran.ru, transport@igduran.ru

## Предложение по применению транспорта с троллейным питанием на Ново-Учалинском месторождении<sup>1</sup>

*Предложен вариант применения подземных троллейно-аккумуляторных самосвалов и автопоездов взамен традиционных подземных самосвалов для транспортировки горной массы при разработке Ново-Учалинского месторождения. Рассчитаны предварительные технологические показатели и оценены эксплуатационные затраты на рассмотренные типы самосвалов, на основании которых появляется возможность с минимальными затратами создать опытно-промышленный участок для испытания и отладки современного экономичного подземного транспорта.*

**Ключевые слова:** троллейно-аккумуляторный автопоезд, троллейно-аккумуляторный подземный самосвал, подземный самосвал, затраты на транспортирование.

**V. L. Yakovlev, V. A. Cherepanov**

## Recommendation for Using of Transport with Trolley Power Supply on the Deposit Novo-Uchalinsky

*There is a variant of the application of underground dump truck and trailer with trolley network and battery powered instead of traditional underground dump trucks for transportation of mined rock in mining of Novo-Uchalinsky deposit.*

**Keywords:** truck and trailer with trolley network and battery powered, underground dump truck with trolley network and battery powered, underground dump truck, costs of transportation.

Ново-Учалинское медно-никелевое колчеданное месторождение расположено в 2 км к юго-востоку от эксплуатируемого Учалинского месторождения, на границе горного отвода Учалинского рудника. По масштабам оруднения, запасам ценных компонентов и качеству минерального сырья сопоставимо с Учалинским и является резервом восполнения минерально-сырьевой базы ОАО "Учалинский ГОК". Схожесть вещественного состава и текстурно-структурных особенностей руд этих месторождений позволяет перерабатывать Ново-Учалинские руды на Учалинской обогатительной фабрике без принципиальных изменений применяемых технологий. Ново-Учалинское месторождение расположено на достаточно большой глубине (от 650 до 1300 м) со скатыванием к югу.

Для сокращения сроков строительства рудника, а также получения дополнительной возможности

увеличить его производственную мощность на предприятии рассмотрен вариант вскрытия месторождения с использованием выработок и инфраструктуры Учалинского подземного рудника. Отработку запасов Ново-Учалинского месторождения планируется вести поэтажно-камерной системой разработки с закладкой выработанного пространства с разделением на три яруса (по несколько подэтажей в каждом): верхний, средний и нижний. На первом этапе к отработке принят опытно-промышленный участок, являющийся нижним подэтажом верхнего яруса (790 м/830 м).

Отработку месторождения намечается осуществлять в два пусковых комплекса:

- первый пусковой комплекс — ввод в эксплуатацию наклонных съездов и выработок с Учалинского подземного рудника, необходимых для начала опытно-промышленной отработки (производственная мощность опытно-промышленного участка 1 млн т руды/год);

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-5-025-УГМК.

- второй пусковой комплекс — ввод в эксплуатацию стволов шахт "Клетевая" и "Скиповая" на Ново-Учалинском руднике (производственная мощность на перспективу развития до 3 млн т руды/год).

Механизация основных и вспомогательных производственных процессов предусматривается на базе высокопроизводительного самоходного оборудования, причем в технологической цепочке исключается использование рельсового транспорта. С транспортного наклонного съезда, рассчитанного для движения автосамосвалов САТ AD45В грузоподъемностью 45 т, начинается подготовка и проводится развитие горных работ на опытно-промышленном участке. Отгрузка руды из камер осуществляется через погрузочные заезды с использованием погрузочно-доставочных машин (ПДМ) (типа Sandvik LH514 (TORO 9) грузоподъемностью 14 т) и транспортировкой ее на расстояние не более 200 м, где руда перегружается в автосамосвалы.

Институтом горного дела УрО РАН предлагается сравнить подземные автосамосвалы САТ AD45В грузоподъемностью 45 т (принятые как базовый вариант на предприятии) с подземным троллейно-аккумуляторным автосамосвалом грузоподъемностью 45 т и троллей-автопоездом грузоподъемностью 75 т (принятые как альтернативные варианты транспортирования).

Транспортирование руды возможно по транспортному наклонному съезду (480 м/870 м) до скипового ствола Учалинского месторождения либо по вентиляционному наклонному съезду (180 м/830 м) с перегрузкой на южном борту Учалинского карьера. Учитывая, что предлагаемый альтернативный вариант применения магистрального транспорта с троллейным питанием не требует дополнительного проветривания и не загрязняет воздух, рассмотрен вариант транспортирования до скипового ствола Учалинского рудника. В этом случае сокращается расстояние транспортирования, а также отсутствуют затраты на создание дополнительного перегрузочного пункта на борту карьера и затраты на подъем руды до обогатительной фабрики карьерным транспортом.

Кроме того, для более быстрого ввода в эксплуатацию, для детального изучения морфологии

оруднения, вещественного состава руд и разработки технологических схем обогащения, а также для доразведки месторождения предлагается вести отработку как минимум всего верхнего яруса (а не только опытно-промышленного участка) с использованием транспортного наклонного съезда. Тогда возможно принять производительность яруса на уровне 2500 тыс. т/год.

На Ново-Учалинском месторождении предлагается использовать троллейно-аккумуляторные самосвалы и троллей-автопоезда (ТАП) как магистральный внутришахтный транспорт. ТАП — это автопоезд (с несколькими вагонами в составе) на колесном ходу с троллейным питанием, оснащенный тяговыми аккумуляторами для отхода от троллейной сети при погрузке (разгрузке), движения на разминовках, в гараже и др. При небольших размерах в поперечном сечении (минимальное сечение транспортной выработки для ТАП — 14 м<sup>2</sup>) ТАП имеет высокую грузоподъемность, а для реализации принципа челночного движения оснащен двумя кабинами в начале и в конце состава [1] (рис. 1).

Учитывая, что в настоящее время ведется проходка транспортных наклонных съездов, возможно их строительство с учетом необходимого радиуса поворота для ТАП — 15 м (радиус поворота автосамосвала САТ AD45В — 9,291 м), что не приведет к значительному увеличению капитальных затрат на транспортные выработки. При этом сечение транспортных выработок, необходимое для подземного троллейно-аккумуляторного самосвала, аналогично сечению для самосвала САТ AD45В. Необходимое сечение для ТАП значительно меньше, чем для одиночных автосамосвалов, что позволяет, с одной стороны, сэкономить на строительстве транспортных коммуникаций, с учетом того, что сечение должно обеспечить продвижение остального технологического оборудования шахты, а с другой стороны, потребует дополнительных затрат на строительство разминовок и разгрузочного пункта. Организация движения ТАП на участках погрузки (разгрузки) и разминовках возможна по аналогии с шахтным электровозным транспортом, учитывая при этом возможность челночного движения ТАП. Для предварительного сравнения затрат для трех

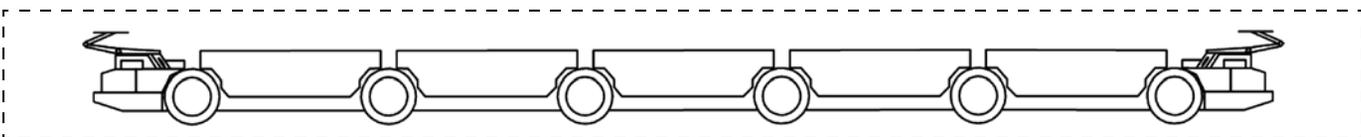


Рис. 1. Внешний вид ТАП

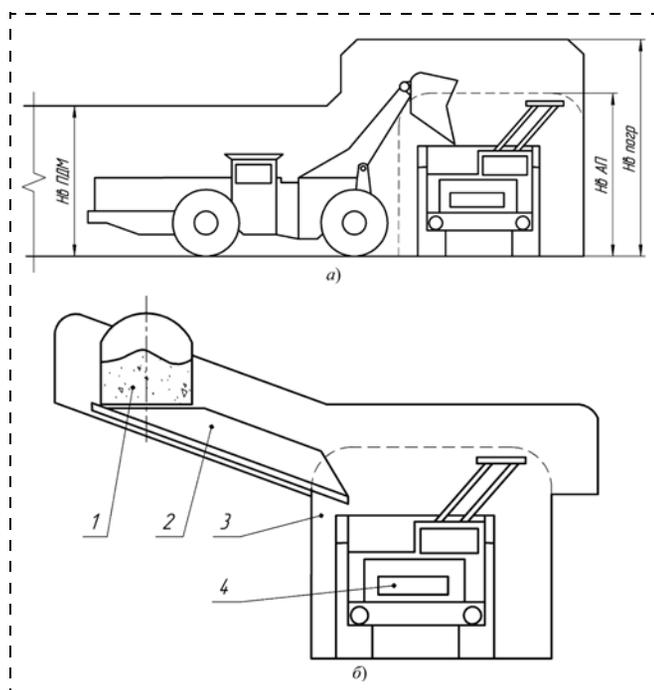
видов магистрального транспорта приняты одинаковые капитальные затраты на строительство транспортных выработок, так как для всех видов необходимы аналогичные транспортные коммуникации (некоторая экономия на снижении сечения для ТАП нивелируется затратами на разминировки), поэтому в дальнейшем экономическом сравнении капитальные затраты на строительство выработок не учитываются.

Принимая во внимание, что в настоящее время ведутся подготовительные работы по проходке наклонных стволов к Ново-Учалинскому месторождению, т. е. добыча руды не начата, возможно предусмотреть следующие варианты погрузки (рис. 2) в магистральный транспорт:

1) из камер погрузочно-доставочными машинами везти руду на небольшие расстояния и осуществлять погрузку в магистральный транспорт;

2) погрузочно-доставочными машинами из камер везти руду в рудоспуски, а затем вибропитателями выполнять погрузку в магистральный транспорт на концентрационном горизонте.

Второй вариант позволит сократить время на погрузку и простои погрузочно-доставочных машин в связи со значительными расстояниями транспортирования магистральным транспортом, а также исключит строительство троллейной сети в непо-



**Рис. 2. Варианты погрузки троллей-автопоезда:**  
*а* — погрузка погрузочно-доставочной машиной; *б* — погрузка вибропитателем; 1 — рудоспуск; 2 — вибропитатель; 3 — транспортная выработка; 4 — троллей-автопоезд

средственной близости от взрывных работ. На погрузке возможно использовать вибропитатель ВДПУ-4ТМ с производительностью погрузки 8,3 т/мин, тогда время погрузки в автосамосвал и троллейно-аккумуляторный самосвал грузоподъемностью 45 т с учетом маневров под погрузку — 6 мин, а ТАП, состоящего из 5 вагонов (общая грузоподъемность 75 т), — порядка 12 мин. Разгрузка автосамосвалов — стандартная с опрокидыванием кузова назад. ТАП имеет боковую разгрузку вагонов в обе стороны.

Необходимо отметить, что в случае троллейного питания транспорта отсутствуют выбросы отработавших газов, что приводит к сокращению подачи воздуха для проветривания. Для учета экономии на вентиляции кроме транспорта необходимо рассматривать весь комплекс оборудования, поэтому в дальнейший расчет для сравнения эффективности магистрального транспорта затраты на вентиляцию не включены. В работе оценены только эксплуатационные затраты на процесс транспортирования в совокупности с затратами на строительство и содержание троллейной сети (при использовании троллейно-аккумуляторных самосвалов и троллей-автопоездов) на период освоения запасов верхнего яруса (в том числе опытно-промышленного участка).

Для определения эксплуатационных затрат по вариантам транспорта были рассчитаны технические характеристики (для троллейно-аккумуляторных самосвалов и ТАП) и проведен расчет технологических параметров (табл. 1). Максимальная скорость движения самоходных машин по горным выработкам принята исходя из тяговой характеристики машины, ширины и типа покрытия проезжей части. Расчетная скорость движения в грузовом и порожняковом направлениях по правилам безопасности не должна превышать 20 км/ч, а на прямых участках длиной более 500 м по согласованию с органами Ростехнадзора допускается увеличение скорости до 40 км/ч. В расчетах максимальная скорость на прямых участках принята 30 км/ч. Расчет параметров аккумуляторов и эксплуатационных характеристик велся на основе данных, полученных при использовании компьютерной программы, разработанной в ИГД УрО РАН [2, 3].

Расчет эксплуатационных затрат приведен в табл. 2. В расчетах принят следующий режим работы автотранспортного звена предприятия: 3 смены по 8 ч/сут, круглогодичный режим работы, коэффициент использования сменного времени — 0,9. Коэф-

Таблица 1

## Технико-технологические показатели работы подземного транспорта

Показатели	АС 45	ТА 45	ТАП 75
<b>Технические параметры</b>			
Грузоподъемность, т	45	45	75
Масса снаряженного автосамосвала, т	39,4	37	65
Преодолеваемый средневзвешенный уклон (расчетный / максимальный), %	15/26	15/26	15/26
Средняя скорость в грузовом направлении при подъеме по расчетному уклону, км/ч	9,6	12	14
Мощность ДВС, кВт	439	Нет	Нет
Длительная мощность тягового аккумулятора энергии (АЭ) (движение по горизонтальному участку с полной загрузкой со скоростью 25 км/ч), кВт	Нет	190	350
Энергоемкость АЭ, МДж/(кВт • ч)	Нет	98/27	133/37
Время работы АЭ на длительной мощности, с	Нет	До 600	До 600
Максимальная расчетная кратковременная мощность, кВт (разгон и движение на подъеме)	Нет	650	1200
Время непрерывной работы на максимальной мощности, с	Нет	До 300	До 300
Напряжение контактной сети, В	Нет	1000	1000
Ток, потребляемый самосвалом из контактной сети, А, не более	Нет	650	1200
Масса аккумулятора, т	Нет	0,3	0,4
<b>Параметры расчетной трассы</b>			
Высота подъема, м	398,98	398,98	398,98
Расстояние транспортирования, км	4,04	4,04	4,04
Средневзвешенный уклон, %	9,9	9,9	9,9
Степень троллейзации, It/2L, %	Нет	0,66	0,66
<b>Время рейса, мин</b>	53,13	40,48	44,3
<b>Расход топлива за рейс, кг</b>	45,23	Нет	Нет
<b>Затраты электроэнергии из сети</b>			
Потребление из сети в грузовом направлении за рейс, кВт • ч	Нет	177,33	265,49
Рекуперация в АКБ за рейс, кВт • ч	Нет	-19	-36,2
Суммарные затраты от троллея за рейс, кВт • ч	Нет	157,89	229,27
<b>Технологические параметры</b>			
Годовой объем перевозок, тыс. т/год	2500	2500	2500
Расстояние транспортирования, км	4,04	4,04	4,04
Годовая тонно-километровая работа, тыс. ткм	10 100	10 100	10 100
Суточная производительность транспортного средства, т/сут	1098	1441	2193
Годовая производительность транспортного средства, тыс. т/год	341	425	646
Годовой пробег транспортного средства, км/год	61 166	76 260	69 634
Пробег по парку в год, тыс. км	449	449	269
Рабочий парк, ед.	6,2	5,0	3,3
Списочный парк, ед.	7	6	4
Примечание. Здесь и далее АС 45 — подземный автосамосвал САТ А45В грузоподъемностью 45 т; ТА 45 — подземный троллейно-аккумуляторный самосвал грузоподъемностью 45 т; ТАП 75 — троллей-автопоезд с аккумуляторами, грузоподъемностью 75 т.			

Таблица 2

## Расчет эксплуатационных затрат

Экономические показатели	АС 45	ТА 45	ТАП 75
<b>Расчет годовых транспортных затрат, млн руб.</b>			
ФЗП + отчисления, тыс. руб.	19 005	15 244	10 016
Электроэнергия, тыс. руб.	0	18 467	16 089
Горючее, тыс. руб.	50 259	0	0
Шины, тыс. руб.	15 711	15 711	11 447
ТО и Р, тыс. руб.	17 348	12 143	8273
Содержание троллейной сети, тыс. руб.	0	15 172	14 858
<b>Итого, эксплуатационные затраты, млн руб.</b>	102	83	67
Затраты на 1 т/км, руб./ткм	10,13	8,25	6,65
Затраты на 1 т, руб./т	40,9	33,3	26,9
<b>Расчет капитальных затрат</b>			
Кап. затраты на 1 самосвал, млн руб.	9,293	10,000	14,800
Кап. затраты на парк, млн руб.	65	60	59
Кап. затраты на троллейную систему (стоимость строительства контактных линий и тяговых подстанций), млн руб.	0	49	52
<b>Итого, капитальные затраты, млн руб.</b>	65	139	143
Коэффициент приведения $E_n$	0,12	0,12	0,12
<b>Приведенные затраты, млн руб./год</b>	110	100	84
<b>Срок окупаемости</b> (при наличии парка автосамосвалов), лет	0	4,27	2,67

фициент технической готовности машин — 0,85, троллейной сети — 0,95. Стоимость электроэнергии — 2 руб./(кВт • ч), стоимость дизельного топлива — 20 руб./кг, зарплата водителя — 50 000 руб./мес, коэффициент списочного состава — 1,3. Для сравнения вариантов использованы приведенные затраты. Коэффициент приведения  $E_n$  принят равным 0,12. Применение в данном случае метода дисконтирования нецелесообразно, поскольку отсутствуют данные о полной структуре затрат по предприятию и доходной части, а также рассматривается только один производственный процесс. Сопоставление эксплуатационных, капитальных и приведенных затрат по вариантам приведено на рис. 3.

Срок окупаемости при внедрении ТАП 75 составит 2,67 года, если оценивать их внедрение на действующей шахте с уже эксплуатируемым парком подземных самосвалов САТ. Необходимо отметить, что все эксплуатационные показатели, рассчитанные для транспорта с троллейным питанием, являются на сегодняшний день теоретическими и взяты по аналогам, либо по данным предприятий, готовых изготовить эту технику, поэтому на практике они могут быть скорректированы. Так как подземные самосвалы САТ эксплуатируются на Уча-

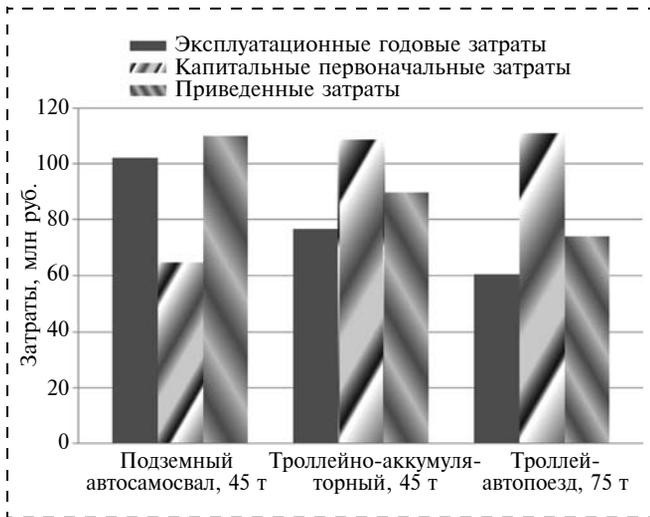


Рис. 3. Сопоставление годовых эксплуатационных, первоначальных капитальных и приведенных затрат на подземный транспорт

линском подземном руднике уже сейчас, и проходка автоуклонов для применения самоходного транспорта уже ведется, имеется возможность с минимальными капитальными вложениями организовать опытно-промышленный троллейный участок для испытания, отладки и получения эксплуатационных показателей передовой техники на предприятии ООО "УГМК-Холдинг". При этом возможно проведение испытаний в течение нескольких лет, с принятием решений о дальнейшей эксплуатации по практическим показателям эффективности новой техники. При этом возврат на базовый вариант либо применение одновременно одного-двух самосвалов с троллейным питанием одновременно с самосвалом САТ не представляет особых проблем. По предварительным расчетам, только разница в затратах на горючее для самосвала и электроэнергию для ТАП, относительно суммарных эксплуатационных затрат для самосвала, составляет 33 %.

### Выводы

1. Для более быстрого ввода в эксплуатацию Ново-Учалинского месторождения предлагается вести отработку как минимум всего верхнего яруса (а не только опытно-промышленного участка) с использованием транспортного наклонного съезда. Тогда возможно принять производительность яруса на уровне 2500 тыс. т/год, а более длительный

срок эксплуатации позволит окупить затраты на строительство троллейной сети.

2. Наиболее эффективным с точки зрения эксплуатационных затрат выглядит троллейно-аккумуляторный автопоезд для подземных работ грузоподъемностью 75 т. Тем не менее он требует некоторых изменений в организации транспортного процесса (относительно большие радиусы поворота, специальные схемы погрузки, организация специальных разминок). Поэтому кроме сравнения по эксплуатационным показателям, необходимо дополнительное обоснование по капитальным затратам. Наименьших технологических изменений и капитальных вложений требуют одиночные троллейно-аккумуляторные самосвалы. При этом в расчетах не была учтена экономия затрат на вентиляцию (по сравнению с подземными самосвалами с дизельным двигателем).

3. В компании ООО "УГМК-Холдинг" имеется ряд предприятий с подземной разработкой (Западно-Озерное месторождение; перспективные этажи подземного рудника Гайского ГОКа и др.), где внедрение подземного троллейвозного транспорта может дать существенный эффект. Учитывая, что в настоящее время только ведутся подготовительные работы по проходке наклонных стволов к Ново-Учалинскому месторождению, т. е. добыча руды не начата, появляется возможность с минимальными затратами создать опытно-промышленный участок для испытания и отладки современного экономичного и экологичного транспорта с троллейным питанием и последующей его эксплуатации как на Ново-Учалинском месторождении, так и на других предприятиях Холдинга и России.

### Список литературы

1. Черепанов В. А. Некоторые технические и технологические аспекты применения троллей-автомобилей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 11. С. 225—234.
2. Тарасов П. И., Журавлев А. Г., Исаков М. В. Выбор параметров аккумулятора для комбинированной энергосиловой установки карьерного автосамосвала // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 9. С. 49—53.
3. Журавлев А. Г. Компьютерное моделирование режимов движения карьерных автосамосвалов с КЭУ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 0В11. С. 371—382.

УДК 622.233.051.5:622.233.016.25

**А. С. Реготунов**, мл. науч. сотр., ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург  
E-mail: pochta8400@inbox.ru

## **К вопросу о разработке рациональных параметров инструмента штыревого типа и его воздействия на породу при бурении взрывных скважин<sup>1</sup>**

---

*Представлены результаты моделирования напряженного состояния породы, возникающего под воздействием инденторов штыревого инструмента при бурении скважины. Проведено экспериментальное уточнение полученных данных для крепкой породы. Изложенные в статье результаты исследования являются полезными при создании бурового инструмента нового технического уровня и разработке рациональных режимных параметров бурения.*

**Ключевые слова:** напряжения, скол, штыревой буровой инструмент, индентор, ударная нагрузка, порода.

**A. S. Regotunov**

## **On the Development of Rational Parameters of the Tool Pin Type and its Impact on the Rock During the Drilling of Blast Holes**

---

*The results of modeling the stress state of rock arising under the influence of indenters pin tool during drilling are presented. The experimental data are refined for sturdy rock. The presented results of the study are particularly useful when create drilling tools new technological level and the development of rational regime of drilling parameters.*

**Keywords:** stresses, cleavage, pin drilling tool, indenter, load impact, rock

Наиболее эффективным буровым инструментом для бурения шпуров и скважин машинами ударного действия (перфоратором, пневмоударником, гидроударником) в крепких породах и рудах является штыревой, оснащенный по всему рабочему торцу твердосплавными инденторами. Растущие требования к эффективности бурового оборудования обуславливают необходимость разработки и применения инструмента, обеспечивающего достижение наиболее полного использования энергии удара при разрушении породы. Значительная доля энергозатрат при разрушении породы штыревым инструментом потребляется в процессе сопротивления породы проникновению в нее инденторов. Одним из основных путей снижения сопротивляемости породы разрушению при бурении штыревым инструментом, а следовательно, и энергоемкости процесса

является поиск и применение рациональных параметров как самого инструмента, так и процесса его воздействия — энергии единичного удара, угла поворота инструмента между ударами, частоты ударов, обеспечивающих разрушение породы крупным сколом. Тогда с точки зрения современных позиций теории разрушения механическими способами [1—3] потребляемую энергию на отделение единицы ее объема в процессе бурения штыревым инструментом возможно теоретически снизить в 2—3,5 раза с учетом потребления затрат энергии на нагрев и КПД машин ударного действия.

В настоящее время в существующих методиках размещение инденторов определяется условием их равномерного износа: число инденторов, расположенных по окружности в периферийном, среднем и центральном рядах инструмента, возрастает пропорционально радиусу их вращения. Однако при этом не учитывается влияние расстановки инденторов на распределение напряжений в нагружаемой

---

<sup>1</sup> Работа подготовлена в рамках выполнения конкурсных проектов фундаментальных исследований УрО РАН № 12-Т-1021, № 12-М-23457-2041, ГР № 01201369005.

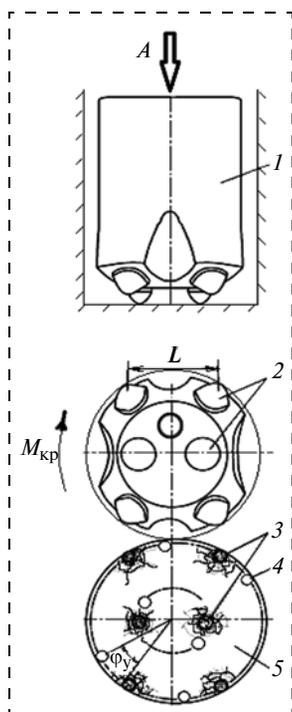


Рис. 1. К описанию механизма разрушения породы штыревым буровым инструментом:

1 — штыревой буровой инструмент; 2 — инденторы; 3 — лунки выкола; 4 — место следующего удара по забою; 5 — забой скважины

породе, что не дает ясности о механизме разрушения породы при бурении созданным инструментом. Поэтому с точки зрения эффективности разрушения крепких пород, весьма склонных к скалыванию, запроектированные параметры размещения инденторов в инструменте являются необоснованными. В практике бурения это означает недоиспользование буровым инструментом потенциальных резервов по снижению энергоемкости разрушения породы.

Динамика работы штыревого инструмента определяется двумя главными процессами — ударом по забою скважины и перемещением в место следующего удара. Под воздействием энергии удара  $A$  (рис. 1) инденторы 2 бурового инструмента 1, внедряясь в забой скважины 5, разрушают его в определенной области. В зависимости от расстояния  $L$  возможно разрушение породы выколом (рис. 2, а) или значительно более выгодным по энергоемкости механизмом совместного скола (см. рис. 2, б). За счет действия крутящего момента  $M_{кр}$  происходит перемещение инструмента в место следующего удара 4 (см. рис. 1) поворотом (для перфоратора) либо непрерывным вращением (для пневмоударника, гидроударника). В зависимости от угла поворота инструмента между ударами  $\phi_y$  дальнейшее разрушение породы возможно либо снова механизмом выкола (см. рис. 2, а), либо механизмом скола в направлении свободной поверхности лунок 3 (см. рис. 2, в).

По данным работы [1] действие механизма выкола (см. рис. 2, а) характеризуется наибольшей

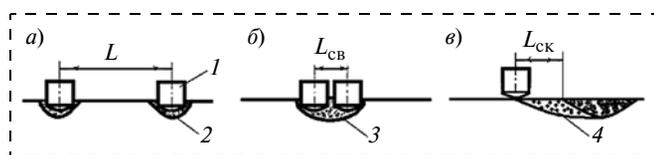


Рис. 2. Основные механизмы разрушения породы при внедрении инденторов в породу:

а — механизм выкола; б — механизм совместного скола; в — механизм скола на свободную поверхность; 1 — индентор; 2 — лунка выкола; 3 — лунка совместного скола; 4 — скол на свободную поверхность лунок

энергоемкостью, и поэтому разрушение породы при бурении вести данным механизмом крайне неэффективно.

В работе [2] показано, что при одновременном нагружении породы двумя (несколькими) близко расположенными инденторами — механизм совместного скола (см. рис. 2, б) с наименьшей энергоемкостью может быть достигнут при размещении инденторов на межосевом расстоянии  $L$ , равном рациональному значению  $L_{св}$ , которое имеет свое значение для конкретной по прочности породы. Для обеспечения механизма скола породы в сторону свободной поверхности с наименьшей энергоемкостью, согласно работы [3], инденторы следует устанавливать на рациональном расстоянии  $L_{ск}$  (см. рис. 2, в), которое также варьируется в зависимости от физико-механических свойств породы.

Таким образом, для реализации механизма совместного скола крепкой породы при бурении штыревым инструментом необходимо варьировать расстояние  $L$  между инденторами 2 (см. рис. 1), размещаемыми на рабочей поверхности, достигая рационального его значения  $L_{св}$ . Для обеспечения в процессе бурения механизма скола на свободную поверхность лунок 3, образованных предыдущими ударами, необходимо с помощью изменения угла поворота между ударами по инструменту  $\phi_y$  обеспечить рациональное расстояние  $L_{ск}$  от места следующего удара 4 до свободной поверхности в забое скважины 3.

Из изложенного следует, что рациональный механизм разрушения породы при бурении штыревым инструментом следует считать такой, при котором порода отделяется от забоя скважины в результате комбинированного действия как механизма совместного скола, так и механизма скола на свободную поверхность, которые должны реализовываться с наименьшей энергоемкостью для пород с конкретными физико-механическими свойствами.

В целях установления рациональных значений расстояния между инденторами  $L_{св}$ , размещаемыми на рабочей поверхности бурового инструмента, и расстояния до свободной поверхности лунки  $L_{ск}$  проведено моделирование напряженного состояния породы забоя. Модель забоя скважины (шнура) была выполнена из оптически активного материала — игдантина, вопросы изготовления которого были разработаны в ИГД им. А. А. Скочинского [4]. Модель представляла участок массива породы с изотропными свойствами.

Для исследования механизма совместного скола плоскую модель нагружали одинаковой статической нагрузкой через два индентора со сферической контактной поверхностью. Расстояние между инденторами принималось кратным их диаметру  $d$ .

Диапазон варьирования межосевого расстояния составлял от  $d$  до  $4d$ . В исследовании механизма разрушения породы сколом на свободную поверхность в модели была изготовлена выемка, имитирующая лунку, образованную предыдущим ударом по забою скважины. Под действием нагрузки на модель породы забоя в ней возникали напряжения, которые обуславливали двойное лучепреломление при прохождении через нее белого света. После выхода из модели преломленный свет проходил через поляризатор. После прохождения поляризатора на экране были получены картины интерференции, состоящие из линий с различными цветами, объединяющими точки с одинаковой оптической разностью хода. Согласно основному закону фотоупругости оптическая разность хода, получаемая после прохождения поляризованного света через напряженную модель, пропорциональна разности главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , поэтому в точках с одинаковой оптической разностью хода разность главных напряжений также одинакова. Учитывая выражение  $2\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_2)$  из теории упругости [5] полосы, окрашенные одним цветом на полученных при моделировании интерференционных картинах — это линии равных максимальных касательных напряжений  $\tau_{\max}$ .

При нагружении модели статической нагрузкой цветные полосы появлялись в такой последовательности: красная, желтая, зеленая, синяя. До момента прекращения погружения инденторов появлялись цветные полосы в той же последовательности. Это полосы второго, третьего, четвертого порядка. Порядок полосы  $n$  линейно пропорционален значению максимальных касательных напряжений в точках полосы. Полоса первого порядка соответствует минимальной разнице главных нормальных напряжений. Изменение напряжений в модели охарактеризовано в безразмерных единицах коэффициента  $k$ . Величина  $k$  является отношением напряжений  $2n\tau_{\max}$  в точках полосы с порядком  $n$  к величине напряжений  $2\tau_{\max}$  в точках полосы

$$\text{первого порядка: } k = \frac{2n\tau_{\max}}{2\tau_{\max}} = n.$$

На рис. 3 (см. 3-ю стр. обложки) показаны картины распределения максимальных касательных напряжений при внедрении инденторов на различном межосевом расстоянии, а на рис. 4 — эпюры напряжений в характерном горизонтальном сечении  $A-A$ , проведенном для всех случаев расстановки инденторов. Из анализа эпюр следует, что в области породы, находящейся непосредственно под инденторами, максимальные касательные напряжения возрастают в наибольшей степени — в 4 раза. Это наблюдается при всех вариантах их ус-

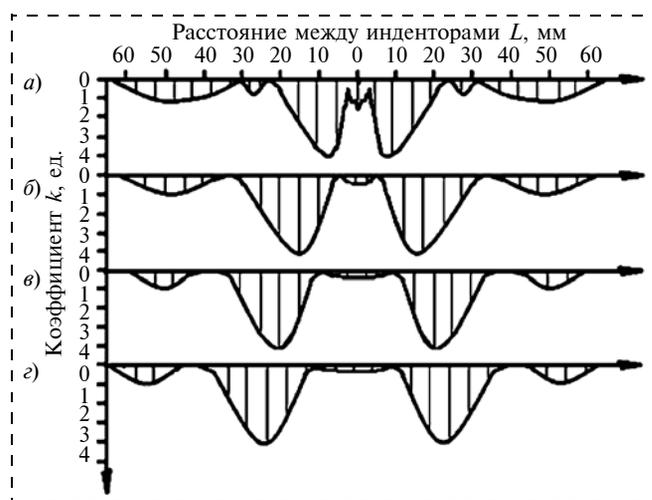


Рис. 4. Эпюры распределения напряжений в сечении  $A-A$  для случаев, показанных на рис. 3 (см. 3-ю стр. обложки)

тановки. В этой области порода в процессе бурения разрушится в первую очередь. По мере сближения инденторов до расстояния, равного  $d$  (см. рис. 3, *а*, на 3-й стр. обложки), отмечается появление области между ними с повышенной интенсивностью напряжений, в которой напряжения возрастают в 2 раза (см. рис. 4, *а*). Наиболее вероятно, что расположенный в этой области объем породы разрушится скалыванием без дополнительных затрат энергии удара (см. рис. 2, *б*). При большем расстоянии между инденторами, не превышающем значения  $3d$  (см. рис. 3, *б, в*, на 3-й стр. обложки), разрушение совместным сколом породы также возможно, но во многом будет зависеть от ее свойств: вязкости, микротрещиноватости.

При расстоянии между инденторами, равном  $4d$ , поля напряжений обособлены главным образом под каждым из них, поэтому разрушение породы будет происходить только в области контакта с ними с образованием лунок наиболее энергоемким механизмом выкола (см. рис. 2, *а*).

На рис. 5 (см. 3-ю стр. обложки) приведены картины распределения максимальных касательных напряжений при различном расстоянии от индентора до свободной поверхности лунки в забое скважины, образованной предыдущим ударным воздействием бурового инструмента.

Анализ эпюр напряжений в модели породы, действующих в горизонтальном сечении  $B-B$  (рис. 6), проходящего через угловую зону лунки (концентратор напряжений), показывает, что максимальные касательные напряжения здесь в сравнении с остальными вариантами установки (см. рис. 5, *б-г*, на 3-й стр. обложки) увеличивают свое значение в 4 раза (см. рис. 6, *а*) при расстоянии  $L_{\text{СК}}$ , равном  $0,5d$  (см. рис. 5, *а* на 3-й стр. обложки).

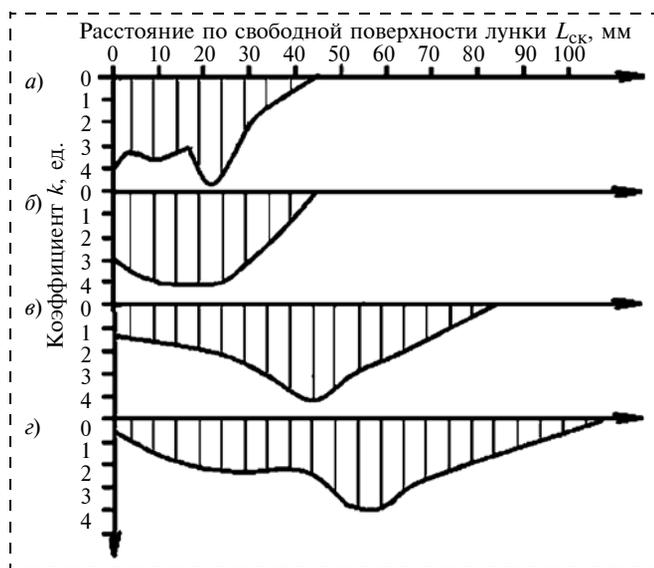


Рис. 6. Эпюры распределения напряжений в сечении Б—Б

Результаты исследования рациональных геометрических параметров размещения инденторов в инструменте и в забое скважины

Метод исследования	Расстояние между инденторами $L_{св}, d$	Расстояние от индентора до свободной поверхности $L_{ск}, d$
Моделирование на оптически активном материале	1,0...3,0	0,5...1,0
Натурный эксперимент (гранит)	1,25	1,3

Сопоставимое увеличение максимальных касательных напряжений — в 3 раза (см. рис. 6, б) наблюдается в угловой зоне лунки, когда воздействие индентора происходит на расстоянии от лунки, равном  $1d$  (см. рис. 5, б на 3-й стр. обложки).

Можно сделать вывод, что при размещении индентора в положениях относительно свободной поверхности лунки, представленных на рис. 5, а, б (см. 3-ю стр. обложки), порода при бурении наиболее вероятно будет разрушаться сколом с наименьшими затратами (см. рис. 2, в). Напротив, при расстоянии до свободной поверхности, равном  $2d$  и более (см. рис. 5, в, г на 3-й стр. обложки), разрушение породы сколом маловероятно, поскольку максимальные касательные напряжения в угловой зоне лунки незначительны: значение коэффициента  $k$  не превышает 1,25 ед. (см. рис. 6, в) и 0,5 ед. (см. рис. 6, г).

Установленные рациональные значения параметров  $L_{св}$  и  $L_{ск}$  при моделировании являются приблизительными и требуют уточнения, так как определены, во-первых, для модели породы с изотропными свойствами, во-вторых, являются рациональными только в области упругой стадии нагру-

жения, в-третьих, не учитывают форму контактной поверхности индентора.

Для уточнения установленных результатов проведена серия экспериментов на ударном стенде. Для этого применялись блоки гранита размером  $90 \times 90 \times 90$  мм с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодыяконова  $f = 17$ . Для нагружения образцов породы применены модели разрушающего инструмента, представленные цельнометаллическими цилиндрами, в каждом из которых закреплены два индентора на различном расстоянии (рис. 7, см. 3-ю стр. обложки). Контактная поверхность индентора имела коническую форму. Диаметр инденторов — 8 мм.

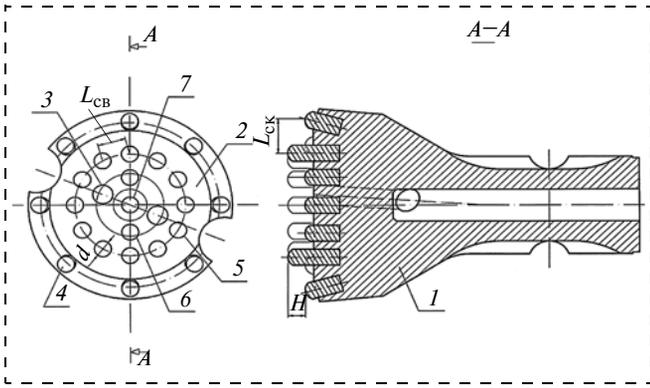
В результате экспериментальных исследований установлено, что при величине удельной энергии удара, подведенной к каждому индентору, диапазон изменения которой составил от 8 до 40 Дж, для обеспечения эффекта совместного скола гранита с наименьшей энергоемкостью инденторы в рядах инструмента следует устанавливать на расстоянии между собой  $L_{св}$ , равном  $1,25d$ , а удельную энергию единичного удара следует принимать 32 Дж.

Наименьшая энергоемкость разрушения гранита механизмом скола на свободную поверхность лунки достигается на расстоянии от индентора до нее  $L_{ск}$ , равном  $1,3d$ .

Данные, полученные в процессе физического моделирования на оптически активном материале и в ходе натурного эксперимента по разрушению инденторами образцов гранита ударной нагрузкой, представлены в таблице.

Изложенные в статье результаты исследования были учтены при разработке рациональной конструкции установки индентора в буровом инструменте штыревого типа.

Исследования показали, что для более полной реализации возможностей механизма разрушения породы совместным сколом, а также механизма скола на свободную поверхность в процессе бурения, конструкция рабочей поверхности штыревого инструмента должна иметь хотя бы один выступающий ряд инденторов по окружности. На рис. 8 показан буровой инструмент штыревого типа (подана заявка на полезную модель), в котором инденторы среднего ряда 5 имеют выступ относительно поверхности инденторов периферийного ряда на величину  $H$ , равную  $0,75d$ . При этом в среднем ряду 5 инденторы размещены на расстоянии друг от друга, равном  $1,25d$ . Предложенные конструктивные решения позволяют в процессе бурения значительно минимизировать объем породы, разрушаемый механизмом выкола, а отделение породы от массива в процессе бурения скважины производить



**Рис. 8. Рациональный буровой инструмент штыревого типа:**  
 1 — корпус; 2 — рабочая поверхность; 3 — отверстия для продувки забоя скважины; 4 — инденторы периферийного ряда; 5 — инденторы среднего ряда; 6 — инденторы центрального ряда; 7 — центральный индентор

с помощью скалывания, что способствует значительному снижению энергоемкости разрушения.

Единичный цикл разрушения слоя породы можно представить следующим образом. Инденторы бурового инструмента 5 под действием удара с энергией  $A$  внедряются в поверхность забоя скважины, образуя опережающее углубление в забое механизмом совместного скола породы. Инденторы периферийного ряда 4 в определенный момент времени, благодаря расположению их в инструменте на рациональном расстоянии  $L_{ск}$  от инденторов среднего ряда 5, осуществляют дальнейшее разрушение породы скалыванием в сторону свободной поверхности опережающего углубления. Одновременно с инденторами периферийного ряда на породу забоя скважины воздействуют инденторы центрального ряда 6 и 7, скалывая ее в направлении уже увеличенной свободной поверхности опережающего углубления. После завершения удара инструмент перемещается в место следующего его воздействия, которое определяется через угол  $\varphi_y$  с учетом рационального значения расстояния до свободной поверхности  $L_{ск}$ . До завершения полного цикла отделения слоя породы от забоя скважины и начала следующего потребуется произвести  $N_y$  ударов, учитывая эффект выполаживания свободной поверхности коэффициентом  $k_H$ .

Рациональные параметры воздействия для инструмента следует устанавливать согласно выражениям (1)—(4):

- энергия единичного удара по инструменту  $A$

$$A = a_z z, \quad (1)$$

где  $a_z$  — удельная энергия удара на один индентор, определяемая экспериментально на ударном стенде (для крепкой породы типа гранит составляет 32 Дж);

$z$  — общее число инденторов на поверхности бурового инструмента;

- число необходимых ударов по инструменту для наиболее полной проработки забоя инструмента  $N_y$  за цикл

$$N_y = \left( \frac{360}{\varphi_y} + 1 \right) k_H, \quad (2)$$

где  $k_H$  — коэффициент выполаживания поверхности скола (принимается равным 2...3);  $\varphi_y$  — угол поворота инструмента между ударами;

- частота ударов по инструменту  $n_y$

$$n_y = \frac{n_{вр}}{\varphi_y}, \quad (3)$$

где  $n_{вр}$  — частота вращения инструмента;

- угол поворота инструмента между ударами  $\varphi_y$

$$\varphi_y = 2 \arcsin \frac{L_{ск}}{2R}, \quad (4)$$

где  $R$  — радиус вращения инденторов периферийного ряда.

Из-за трудности учета влияния в математических выражениях (1)—(4) всего многообразия факторов, воздействующих на процесс бурения, рациональные параметры предложенного инструмента и его воздействия целесообразно уточнять с помощью экспериментальной апробации при бурении скважин.

## Выводы

- На основе анализа напряженного состояния модели породы забоя скважины, вызванного воздействием инденторов штыревого бурового инструмента, определены рациональные границы изменения расстояния между инденторами в инструменте, а также расстояния до свободной поверхности, соблюдение которых обеспечивает снижение сопротивляемости породы разрушению при бурении за счет развития дополнительной области с достаточно высокими касательными напряжениями, что ведет к снижению энергоемкости процесса. Проведено уточнение результатов моделирования для гранита.
- Результаты исследования применены для разработки рациональной конструкции расположения инденторов в штыревом инструменте, использование которого позволит повысить эффективность разрушения породы машинами ударного действия, а также для определения рациональных режимных параметров — энергии единич-

ного удара, угла поворота инструмента между ударами, частоты ударов, числа необходимых ударов по инструменту для наиболее полной проработки забоя за цикл.

#### Список литературы

1. Арцимович Г. В. Механофизические основы создания породоразрушающего бурового инструмента. Новосибирск: Наука, 1985. 269 с.

2. Эйгелес Р. М., Стрекалова Р. В. Расчет и оптимизация процессов бурения скважин. М.: Недра, 1977. 200 с.

3. Протасов Ю. И. Теоретические основы механического разрушения горных пород. М.: Недра, 1985. 242 с.

4. Трумбачев В. Ф., Молодцова Л. С. Применение оптического моделирования для исследования напряженного состояния пород вокруг горных выработок. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 95 с.

5. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости: пер. с англ. М.: Наука, 1975. 576 с.

УДК 622.235

В. Г. Шеменев, канд. техн. наук, зав. лаб.,  
А. В. Глебов, канд. техн. наук, зам. директора по научным вопросам,  
В. А. Синицын, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаб., ИГД УрО РАН,  
В. Б. Ткачев, зав. сектором лаб.,  
ИГД УрО РАН, директор, ООО "СпецГорМаш", г. Екатеринбург

## Смесительно-зарядные машины для изготовления и заряжания эмульсионных ВВ на карьерах Урала<sup>1</sup>

*Приведен некоторый опыт эксплуатации смесительно-зарядных машин. Дано описание технических характеристик и конструкции новой специальной зарядной горной машины СЗГМ-15Э. Предложены пути дальнейшего развития данного вида техники.*

**Ключевые слова:** смесительно-зарядные машины, эмульсионные взрывчатые вещества, технологическое оборудование, экологическая безопасность.

V. G. Shemenev, A. V. Glebov, V. A. Sinitzin, V. B. Tkachev

## Mixing-Charging Machines for Making and Charging Emulsion Blasting Agents in the Ural Open Pits

*Is some experience of operation of mixing-charging machines. Description of technical characteristics and design of the new special mixing-charging mining machines СЗГМ-15Э. The ways of further development of this type of equipment.*

**Keywords:** mixing-charging machines, emulsion explosives, production equipment, ecological safety.

### Общие положения

Технология производства взрывных работ с использованием взрывчатых веществ (ВВ), изготавливаемых в процессе заряжания скважин из невзрывчатых компонентов, создана для получения взрывчатых смесей с физическими свойствами, соответствующими требованиям горного производства. Основная особенность этой технологии заключается в том, что она позволяет за счет из-

менения рецептуры получать заряды с требуемой энергией для каждой отдельно взятой скважины, а также изменять энергию скважинного заряда по высоте колонки с учетом сопротивляемости массива разрушающему действию взрыва. Эмульсионные ВВ (ЭВВ) получают с использованием дешевых и доступных компонентов, а также отходов от различных производств [1], что существенно повышает показатели энерго- и ресурсосбережения.

Эффективность и безопасность взрывных работ обеспечиваются только при высоком качестве изготовления ВВ, которое определяется свойствами исходного сырья и параметрами технологического

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках конкурсного проекта ОНЗ-20 № 12-Т-5-1021 "Обеспечение устойчивого развития горно-добывающего комплекса", финансируемого Уральским отделением РАН.

оборудования. Важным звеном в технологии производства ЭВВ для конкретных условий месторождения полезных ископаемых является смесительно-зарядная машина, обеспечивающая экологически чистое безотходное производство, полную механизацию зарядания скважин, сравнительно невысокую газовую вредность и относительно недорогую сырьевую базу.

Изготовление ЭВВ в условиях предприятий и, особенно, в смесительно-зарядных машинах (СЗМ) в процессе зарядания скважин, позволяет получать составы, в наибольшей степени соответствующие конкретным условиям взрывания горных пород [2].

В настоящее время на карьерах Урала для изготовления эмульсионных взрывчатых смесей из невзрывчатых компонентов в процессе зарядания скважин используются СЗМ отечественных производителей: ОАО "НИПИГормаш", ОАО "Гормаш", ООО "СпецГорМаш", ООО "Завод "Звезда", а также зарубежных фирм.

При выборе типа СЗМ для условий конкретного горного предприятия учитывают ее функциональную совместимость с той или иной технологией производства и применения ЭВВ, объемы и расстояние перевозок, необходимость передвижения по дорогам общего пользования, ресурс оборудования и соотношение начальных и эксплуатационных затрат, включающих затраты на содержание ремонтной базы для оперативного проведения текущего ремонта, главным образом, шасси [3].

Как показал опыт применения на карьерах ОАО "Ванадий", каждый час простоя СЗМ обходится в 200...300 долл. США, при этом надежность и ремонтпригодность навесного оборудования СЗМ и автомобильное шасси служат определяющими факторами [4, 5].

К сожалению, по ряду показателей, таких как ресурс насосов подачи компонентов и готового ВВ в скважине, точность дозирования, контроль расхода ВВ, массы заряда, плавность извлечения зарядного шланга и по некоторым другим отечественные СЗМ уступают зарубежным. Эти недостатки практически исключают возможность их использования в сложных условиях, например, при зарядании скважин в сложно-структурных породах с переменной прочностью, когда необходимо изменять плотность ЭВВ по высоте колонки заряда или при зарядании глубоких скважин. Причем в этих случаях высокая точность обеспечения рецептур ВВ при зарядании определяет эффективность взрыва.

Несмотря на то что зарубежные шасси (Volvo, Scania и др.) по многим эксплуатационным показателям превосходят широко распространенные в России (КрАЗ, МАЗ, КамАЗ), их применение

весьма проблематично не только из-за существенно больших цены и эксплуатационных расходов, но и из-за отсутствия на горных предприятиях соответствующей ремонтной базы.

### Новая техника

В рамках программы импортозамещения ИГД УрО РАН совместно с ООО "СпецГорМаш" разработана специальная зарядная горная машина СЗГМ-15Э (далее машина), опытный образец которой изготовлен на Асбестовском ремонтно-машиностроительном заводе и в настоящее время проходит приемочные испытания на ОАО "Комбинат "Ураласбест".

Машина СЗГМ-15Э предназначена для транспортирования компонентов ЭВВ типа порэмит, изготовления его в процессе зарядания преимущественно обводненных скважин методом "под столб воды" на открытых горных работах в районах с умеренным климатом.

#### Техническая характеристика машины СЗГМ-15Э

Грузоподъемность, т	15
Техническая производительность, кг/мин	300
Предельно допустимое отклонение дозирования ВВ, %	±4
Рекомендуемый диаметр заряжаемых скважин, мм, не менее	214
Транспортная база, 6 × 4	Volvo FMXD13
Привод рабочих органов	Гидравлический
Вместимость резервуара для ГГД, м <sup>3</sup>	0,225
Вместимость резервуара для технологической воды, м <sup>3</sup>	0,490
Габаритные размеры, мм, не более:	
длина	10 000
ширина	2550
высота	3900
Масса снаряженной машины, кг, не более	18 000
Полная масса машины, кг, не более	33 000
Нагрузки при полной массе, кг, не более:	
на переднюю ось	7500
на заднюю тележку	25 500

#### Состав, устройство, принцип действия машины СЗГМ-15Э и ее основных частей

Главная цель, преследуемая при проектировании, заключалась в создании машины максимально функциональной и эргономичной в эксплуатации. Основываясь на накопленном опыте и отзывах клиентов компании, в оснащение машины включено оборудование, позволяющее оператору и водителю работать легко и более продуктивно.

На раме шасси 1 (рис. 1, см. 4-ю стр. обложки) машины, снабженной дополнительным надрамником, смонтированы ее основные части: система продувки 2, лестница 3, бункер 4, гидросистема 5, ограждение 6, система подачи газогенерирующей добавки (ГГД) 7, барабан 8, стрела 9, направляющая 10, система подачи эмульсии 11, турбулиза-

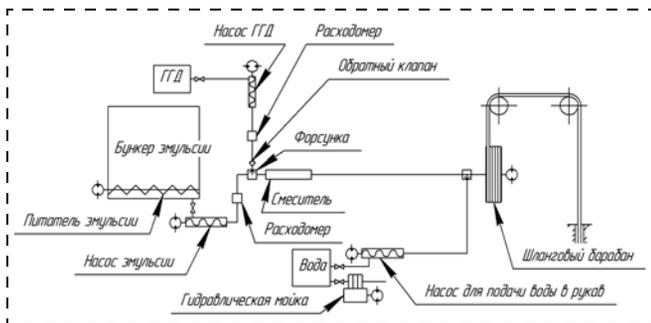


Рис. 2. Принципиальная схема машины СЗГМ-15Э

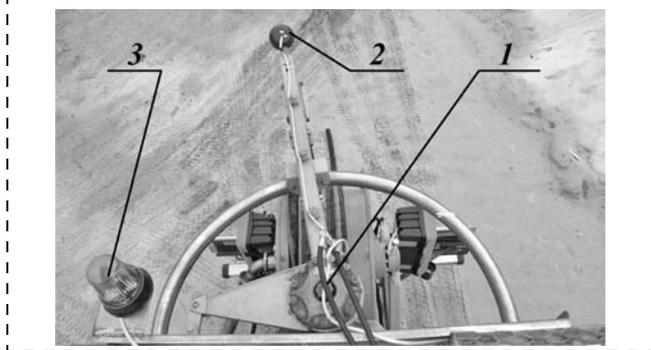


Рис. 3. Поворотная стрела:  
1 — привод стрелы; 2 — фароискатель; 3 — проблесковый маячок

тор 12, система подачи технологической воды и система автономного обогрева (расположены с правой стороны машины и на рисунке не видны), электрооборудование и пульт управления. Принципиальная схема машины представлена на рис. 2.

Привод исполнительных органов машины гидравлический. Гидронасос, установленный на коробке отбора мощности автомобиля, подает масло через гидрораспределитель к гидромоторам шнекового питателя, винтовых насосов для эмульсии и ГГД, гидромойке, гидромоторам барабана и стрелы манипулятора.

Теплоизолированный бункер (термос) предназначен для перевозки эмульсии заводского производства. В верхней части бункера имеются загрузочное устройство и смотровые люки, а в нижней — желоб со шнековым питателем. Для доступа к люкам и загрузочному устройству на крыше бункера установлен настил с откидным ограждением. Опоры бункера крепятся к надрамнику через сайлентблоки. Конструкция бункера исключает воздействие разрывного усилия на внутреннюю стенку термоса.

Для загрузки зарядной машины эмульсией в условиях завода по ее производству бункер снабжен загрузочным устройством, работа которого заключается в том, что эмульсия поступает через загрузочный рукав, идущий от накопительной емкости на заводе и зафиксированный на гайке компенсатора,

вместо снятой до этого крышки. По мере загрузки машины ее бункер под действие массы загружаемой эмульсии проседает вместе с корпусом загрузочного устройства, оставляя неподвижным компенсатор с зафиксированным на нем загрузочным рукавом.

Емкости ГГД и воды установлены на общей раме, прикрепленной к опорам бункера с правой стороны.

Барабан предназначен для опускания зарядного рукава в скважину перед ее заряданием, подъема его в процессе зарядания (рабочий подъем) и после окончания ее зарядания (ускоренный подъем).

Поворотная стрела (рис. 3) с диапазоном вращения  $\pm 90^\circ$ , установленная над барабаном, позволяет заряжать скважины по обе стороны машины.

Теплоизолированная система подачи эмульсии с автономным подогревом позволяет осуществлять дозированную перекачку смеси эмульсии с ГГД при отрицательных температурах до  $-30^\circ\text{C}$  через турбулизатор и зарядный рукав в заряжаемую скважину.

Во время работы системы подачи эмульсия поступает самотеком через всасывающий трубопровод в винтовой насос. Вращение вала гидромотора передается винту, вращающемуся внутри резинометаллической обоймы. Поступающая из бункера через загрузочное отверстие эмульсия подгребается шнеком к винту и внутрь винт-пары, откуда под давлением нагнетается по трубопроводу, через трехходовые краны в турбулизатор (на входе в который производится впрыск ГГД) и далее через зарядный рукав в заряжаемую скважину.

Теплоизолированный турбулизатор для смешивания компонентов порэмита, проходящих через него в определенном процентном соотношении, состоит из корпуса с двумя фланцами для крепления его в трубопроводе, смесителя с пластинами и двух перфорированных дисков. Смесь эмульсии и газогенерирующей добавки, поступающая по трубопроводу из винтового насоса под давлением до 10 атм. ( $\approx 1\text{ МПа}$ ), проходит через первый диск, дробясь на струи, сталкиваясь с винтообразно расположенными пластинами, тщательно перемешивается и в виде однообразной массы выходит из турбулизатора, проходя через второй перфорированный диск, вновь дробясь на струи и смешиваясь в однообразную массу, по зарядному рукаву нагнетается в заряжаемую скважину.

Машина оснащена системами дозированной подачи ГГД (рис. 4) и воды на вход турбулизатора, продувки сжатым воздухом тракта прохождения ВВ от винтового насоса до конца зарядного трубопровода после промывки его водой, гидросистемой для привода шнекового питателя, винтового насоса (дозатора) для подачи эмульсии, винтового насоса для подачи ГГД, винтового насоса для подачи во-

ды, шлангового барабана и стрелы манипулятора, а также системой электрооборудования.

Управление процессом заряжения осуществляется с пультов управления (рис. 5), расположенных в кабине, у барабана и по радиоканалу с помощью дистанционного пульта, находящегося в руках оператора. Предусмотрены рации для удобства общения водителя и оператора в условиях повышенного шума карьера.

Система управления машиной спроектирована на основе электронной системы, которая управляет гидравлической системой. Оператор имеет возможность регулировать скорость двигателя из кабины машины во время производственного процесса и процесса смешивания продукта. В зависимости от процентного соотношения необходимых ингредиентов оператор может менять значения скорости гидропроводов с помощью цифровых потенциометров, расположенных на панели управления.

Работа навесного оборудования контролируется электромагнитными гидравлическими клапанами. Управление располагается в кабине машины.

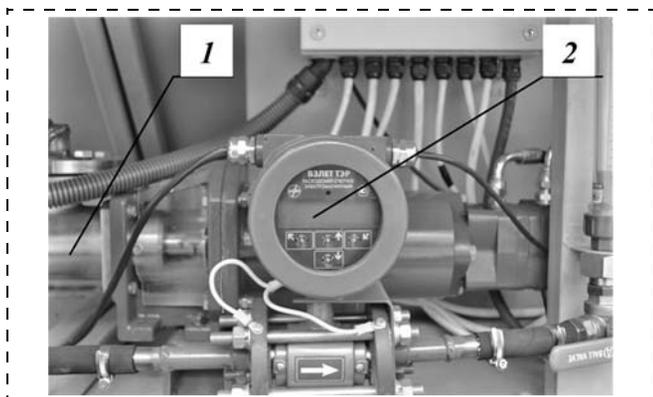


Рис. 4. Система подачи ГГД:  
1 — насос ГГД; 2 — расходомер

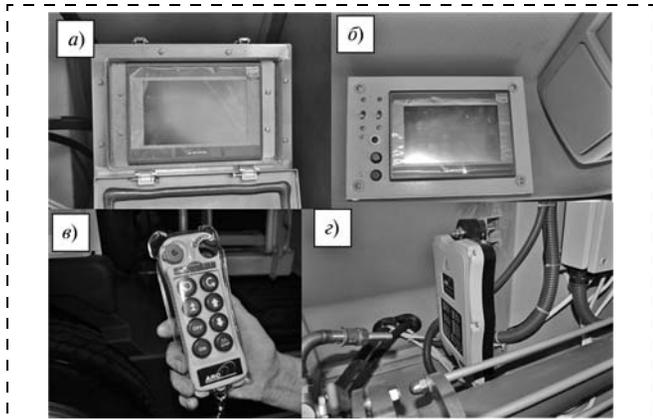


Рис. 5. Основные узлы системы контроля за производственным процессом:

а — наружный пульт управления; б — основной пульт управления зарядной установкой, расположенный в кабине; в — дистанционный радиопульт управления процессом заряжения; г — приемное устройство

Органы контроля позволяют машине отслеживать процентное содержание компонентов в готовом продукте и оперативно вносить корректировки.

Мощный автономный подогреватель обеспечивает бесперебойную работу всех рабочих органов тракта прохождения компонентов в условиях отрицательных температур.

Для удобства обслуживания и мытья машины предусмотрена мойка высокого давления. Камера заднего вида обеспечивает удобное маневрирование для водителя задним ходом в условиях ограниченной видимости в карьере.

## Выводы

Имеющиеся результаты приемочных испытаний показывают возможность создать машины, обеспечивающие изготовление и заряжение ВВ по заданным программам, позволяющим формировать колонку заряда с переменной плотностью и энерговыделением по каждой скважине и значительно снизить затраты на подготовку горной массы к выемке буровзрывным способом. Наряду с этим без совершенствования отечественной базы комплектующих (прежде всего элементов гидравлики и электроники) создание полностью импортозамещенной отечественной машины невозможно.

## Список литературы

1. Котяшев А. А., Глебов А. В. Анализ технологических показателей буровзрывного комплекса рудных карьеров // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 10. С. 7—13.
2. Жученко Е. И., Иоффе В. Б. Технология производства и применения эмульсионных взрывчатых веществ, предназначенных для механизированного заряжения скважин на открытых горных работах. М.: ННЦГП — ИГД им. А. А. Скочинского, 2002. 62 с.
3. Маторин А. С., Шеменев В. Г., Сеницын В. А. Технология и средства механизации для приготовления гелеобразных водосодержащих ВВ и заряжение взрывных скважин // Горный журнал. 1993. № 9—10. С. 26—27.
4. Шеменев В. Г., Сеницын В. А. Совершенствование технологии заряжения обводненных скважин на карьерах Качканарского ГОКа // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения): докл. Междунар. конф. (10.07.08): в 4-х томах: т. 1. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. С. 298—306.
5. Сеницын В. А. Совершенствование смесительно-зарядных машин для водосодержащих ВВ // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Междунар. науч.-техн. конф.: Чтения памяти В. Р. Кубачека, посв. 70-летию со дня рождения В. А. Масленникова / УГГГА. Екатеринбург, 2002. С. 29—35.

**Р. И. Сухов**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., **В. С. Болкисев**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**А. С. Реготунов**, мл. науч. сотр.,  
 ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург  
 E-mail: suhov@igduran.ru

## Выбор направлений совершенствования отечественной буровой техники для проходки взрывных скважин<sup>1</sup>

*Представлены показатели динамики объемов проходки взрывных скважин. Определены тенденции и причины ухудшения технико-экономических показателей бурения взрывных скважин. Обоснована необходимость совершенствования отечественной буровой техники для устойчивого развития горного производства. Приведена концепция реализации резервов на буровых работах. Конкретизированы направления совершенствования применительно к отечественным карьерным буровым станкам.*

**Ключевые слова:** взрывная скважина, буровой станок, конструкция, совершенствование.

R. I. Sukhov, V. S. Bolkisev, A. S. Regotunov

## Selection Improvement of Domestic Drilling Technique for Drilling Blast Holes

*Are indicators of changes in levels penetration hole. Identify trends and the causes of the deterioration of technical and economic parameters of drilling of blast holes. The necessity of improving domestic drilling technology for the sustainable development of the mining industry. Introduce the concept of reserves by drilling operations. Specific areas for improvement with respect to domestic career drilling lathes.*

**Keywords:** borehole drilling rig explosion, construction, improvement.

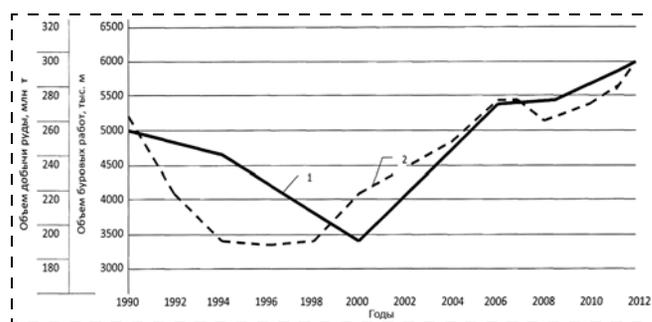
**В** Российской Федерации после резкого спада добычи железной руды в 1990—2000 гг. наблюдается ее устойчивый рост (рис. 1).

За последние десять лет добыча сырой железной руды увеличилась с 225 (2002 г.) до 296 млн т в 2012 г. В послекризисный период стабилизировались объемы добычи и по другим видам минерального (в том числе нерудного) сырья. Разрабатываемые месторождения, как правило (более 95 %), характеризуются высокой прочностью и крепостью руд и пород. Они могут разрабатываться только с применением буровзрывных работ, затраты на которые достигают 30 % стоимости добычи полезного ископаемого. Значительную часть этих затрат составляет стоимость работ по бурению взрывных скважин. К настоящему времени объем бурения взрывных скважин в горно-добывающей отрасли превышает 15 млн м/год, а ориентировочные затраты — более 1 млрд руб.

Поскольку динамика объемов бурения взрывных скважин непосредственно корреспондирует

с динамикой объемов добычи руды (см. рис. 1), то рост объемов добычи руд обуславливает и соответствующий рост затрат на буровые работы [1].

Таким образом, устойчивое развитие горного производства существенно зависит от эффективности бурения взрывных скважин и сокращения затрат на этот технологический процесс. Обеспечение эффективности бурения скважин при увеличивающихся объемах работ, в свою очередь, требует непрерывного совершенствования используемой и создания новой буровой техники и инструмента.



**Рис. 1.** Объемы производства на крупнейших железорудных карьерах России:

1 — объем добычи руды; 2 — объем бурения взрывных скважин

<sup>1</sup>Работа подготовлена по конкурсным проектам фундаментальных исследований УрО РАН № 12-Т-5-1021, № 12-М-23457-2041, 12П-5-1028.

Бурение взрывных скважин в крепких скальных породах и рудах с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова  $f > 10$  наиболее эффективно выполняется шарошечными буровыми станками. В РФ такие станки выпускаются заводом ОАО "Рудгормаш". В настоящее время основное применение в горнорудной промышленности имеют станки типа СБШ-250МНА-32. В частности, на карьерах железорудной промышленности этими станками бурится до 90 % взрывных скважин. Динамика парка станков СБШ-250МНА-32 и их производительности на крупнейших железорудных карьерах представлена на рис. 2 и 3.

Сравнивая данные рис. 1—3 видно, что при возрастающих объемах буровых работ парк отечественных буровых станков остается практически неизменным, несмотря на существенный рост их производительности в 2001—2006 гг. Это объясняется складывающейся с начала 2000-х гг. тенденцией замещения отечественного бурового оборудования импортными буровыми станками (как правило, в дизельном исполнении). Такая тенденция обусловлена более высокой, по сравнению с отечественными станками, мобильностью и производительностью импортного оборудования и, как следствие, существенным снижением затрат на заработную плату персонала буровых работ. Однако экономические показатели импортного оборудования по уровню удельных затрат в конечном итоге сопоставимы с показателями отечественных станков [2].

Следует отметить, что в настоящее время вопросы замещения отечественного бурового оборудования импортным изучены недостаточно. Накопленный опыт эксплуатации импортного оборудования еще несравним с накопленным опытом использования отечественных станков. Из-за этого показатели вновь вводимого в эксплуатацию импортного станка, как правило, некорректно сопоставляются с показателями несколько лет эксплуатируемого отечественного станка. Возможность же улучшения технико-экономических параметров бурения при совершенствовании отечественного бурового оборудования не учитывается. Таким образом, вопросы совершенствования отечественной буровой техники остаются актуальными не только для обеспечения устойчивости развития горного производства, повышения производительности труда на бурении скважин, но и с позиций импортозамещения и развития отечественной машиностроительной отрасли.

Отечественные шарошечные буровые станки выпускаются уже более 40 лет. Продолжительное время парк буровых станков непрерывно старел.

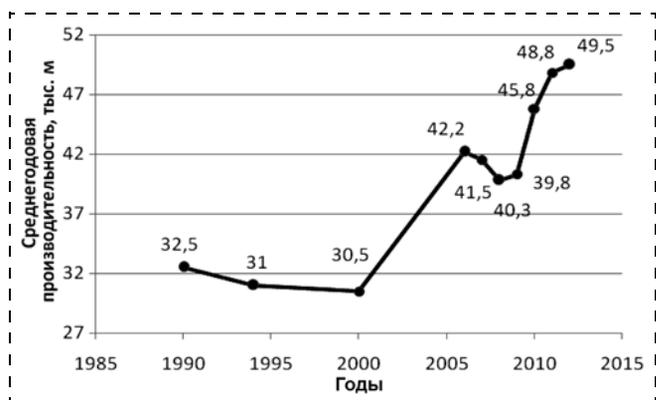


Рис. 2. Среднегодовая производительность буровых станков на железорудных карьерах

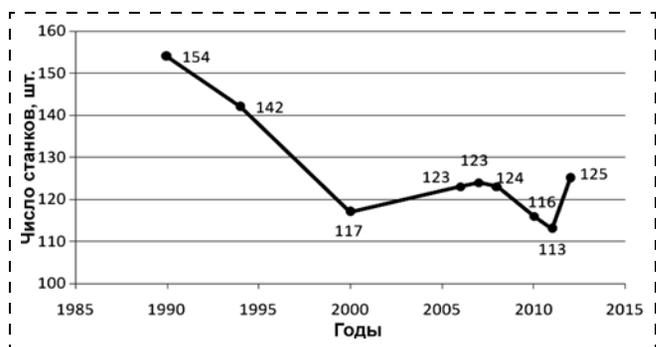


Рис. 3. Списочное число буровых станков типа СБШ-250МНА-32 на основных железорудных карьерах РФ

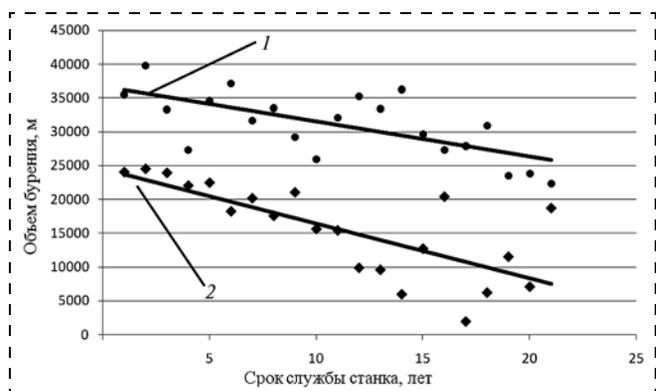


Рис. 4. Изменение эксплуатационной производительности бурового станка при увеличении срока его эксплуатации: 1 — максимальной; 2 — минимальной

Физический износ в настоящее время составляет около 80 %. В основном срок эксплуатации станков достигает 15 лет, а срок службы некоторых станков составляет более 20 лет [3]. Деграционные процессы по ресурсным параметрам станка вследствие его физического износа обуславливают устойчивую тенденцию снижения производительности бурения (рис. 4); увеличения затрат на буровой инструмент, ремонты и ликвидацию аварий станка; роста энергозатрат.

Хотя эта тенденция также способствует замене отечественного оборудования импортным, но она одновременно вызывает и необходимость использования тех направлений совершенствования буровой техники, в которых был бы учтен отечественный и зарубежный опыт бурения взрывных скважин в скальных породах. Действительно, практика показывает, что резервы улучшения технического уровня отечественных шарошечных буровых станков и повышения производительности бурения взрывных скважин полностью еще не исчерпаны. В основу реализации имеющихся резервов должна быть положена концепция наличия единого унифицированного типажного ряда, станки которого должны удовлетворять следующим условиям:

1) соответствовать горно-технологическим и природно-климатическим условиям ведения работ каждого конкретного месторождения;

2) иметь близкие коэффициенты надежности основных агрегатов и узлов станка, а также бурового инструмента.

Кроме того, должны быть обеспечены сервисное обслуживание, высокое качество и возможность стабильной поставки запасных частей для поузлового ремонта. Многолетний опыт эксплуатации отечественных буровых станков показывает, что основными факторами, которые связаны с их конструктивными особенностями и сдерживают повышение эффективности бурения взрывных скважин, явились:

- низкая надежность гидравлических систем передачи больших вращающих моментов на забой скважины;
- отсутствие автономного питания агрегатов, обеспечивающих функции бурения, хода и вспомогательных операций, а также возможности выбора альтернативных энергоносителей;

- низкая надежность и производительность компрессорного оборудования;
- отсутствие механизации укладки высоковольтных кабелей;
- отсутствие авторегуляторов, обеспечивающих контроль и автоматическое регулирование режимов процесса бурения и плавность передачи осевых и вращающих нагрузок;
- отсутствие приборного обеспечения:
  - для экспрессного получения информации о физико-механических свойствах обуриваемого массива пород;
  - для контроля пространственного положения станка.

Выявленные факторы непосредственно определяют направления и задачи дальнейшего совершенствования отечественного бурового оборудования и повышения его технического уровня. В решении этих задач отражается не только роль машиностроительного комплекса в обеспечении конкурентоспособности своей продукции, но и в обеспечении устойчивого развития горно-добывающего производства.

#### Список литературы

1. **Технико-экономические** показатели горных предприятий за 1990—2012 гг. Екатеринбург: Изд-во ИГД УрО РАН, 2013. 360 с.

2. **Лель Ю. И., Захаров А. В.** Эффективность эксплуатации новых моделей буровых станков на карьерах Урала. М.: ГИАБ, 2011. С. 199—206.

3. **Сухов Р. И., Меньшенин А. Г., Хижняков Ю. С., Рысев Д. В.** О состоянии техники и технологии бурения взрывных скважин и вопросы безопасности при эксплуатации бурового оборудования на Урале / Сб. "Технология и безопасность взрывных работ". Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2013. С. 17—26.

---

ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Дизайнер *Т.Н. Погорелова*. Технический редактор *Е.В. Конова*. Корректор *Е.В. Комиссарова*.

Сдано в набор 12.03.2014. Подписано в печать 28.04.2014. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ GO514. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.