

На правах рукописи



УДК 622.684:629.114.42 +
+ 622.271.4:621.879.033

Фурин Виталий Олегович

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
УГЛУБОЧНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДОРАБОТКИ
КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Специальность 25.00.22 – Геотехнология
(подземная, открытая, строительная)*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2009

Работа выполнена в Институте горного дела УрО РАН

Научный руководитель доктор технических наук,
член-корр. РАН

В.Л. Яковлев

Официальные оппоненты: доктор технических наук

М.Г. Саканцев

кандидат технических наук,
доцент

И.Н. Сандригайло

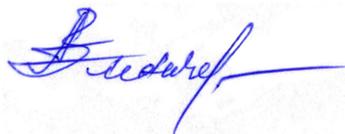
Ведущее предприятие – ОАО «Институт «Уралгипроруда»

Защита состоится 24 декабря 2009 г. в 14⁰⁰ часов
на заседании Диссертационного совета Д 004.010.01
при Институте горного дела УрО РАН по адресу: 620219,
г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
горного дела УрО РАН.

Автореферат разослан " ____ " ноября 2009г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



В.М. Аленичев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эффективность открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых возрастает при интенсивной углубке рабочей зоны и при минимальном объеме разноса бортов карьера. Становится целесообразным вовлечение в сферу открытой разработки месторождений, залегающих на глубине 600 и более метров. На карьерах, где горные работы приближаются к проектному контуру, а граница разведанных запасов находится ниже него, значительная часть запасов полезного ископаемого может быть оставлена в бортах и под дном карьера. Увеличить полноту отработки месторождения и продлить срок службы приближающегося к проектной глубине карьера возможно, если создать в его нижней части зону интенсивной углубки с повышенными углами откоса рабочих и нерабочих бортов. Вскрытие и подготовка новых горизонтов при этом производится в стесненных условиях рабочего пространства с высокими темпами углубки при большой концентрации погрузочно-транспортного оборудования. Определяющую роль играет требуемое повышение продольного уклона и уменьшение ширины транспортных коммуникаций и рабочих площадок. Это выполнимо при использовании углубочного комплекса, в состав которого входят специализированный экскаватор и гусеничный самосвал, позволяющего существенно – в 2-3 раза, по сравнению с традиционными комплексами, увеличить продольный уклон карьерных дорог. Однако в настоящее время, при отсутствии такого горного оборудования, не разработаны методические основы для изыскания условий эффективного применения углубочных комплексов и определения их технологических параметров для горнотехнических условий дорабатываемых карьеров. Обоснование рациональных параметров погрузки и транспортирования горной массы с применением специализированного углубочного комплекса в условиях доработки глубоких карьеров является актуальной научной задачей.

Объектами исследования являются процессы погрузки и транспортирования горной массы углубочным комплексом.

Предметом изучения является взаимосвязь технологических параметров погрузки и транспортирования с техническими параметрами специализированного экскаватора и гусеничного самосвала.

Целью работы является обоснование технологических параметров углубочного комплекса в составе специализированного экскаватора и гусеничного самосвала, позволяющего увеличить полноту выемки полезного ископаемого в глубинной зоне карьеров, эксплуатирующих крутопадающие месторождения.

Идея диссертационной работы заключается в установлении и использовании зависимостей между технологическими параметрами погрузочно-транспортных процессов и техническими характеристиками специализированного экскаватора и гусеничного самосвала для обоснования рациональных значений технологических параметров углубочного комплекса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**, определившие структуру диссертационной работы:

1 Проанализировать состояние и изученность исследуемых вопросов. Провести оценку влияния горнотехнических условий эксплуатации на глубоких горизонтах карьеров на выбор погрузочно-транспортного оборудования.

2 Обосновать технологические и технические требования на создание гусеничных самосвалов и предложить их конструктивные схемы.

3 Провести моделирование процесса работы специализированного экскаватора в глубинной зоне карьера и обосновать его технологические параметры.

4 Выбрать критерии и определить рациональные горнотехнические условия применения углубочных комплексов на действующих и проектируемых карьерах Якутии. Обосновать экономическую эффективность их применения.

Методы исследования: анализ и синтез данных научных исследований, проектных и практических работ; аналогия; графоаналитическое и математическое моделирование; технико-экономический анализ.

Научные положения, защищаемые автором:

1 Применение углубочного комплекса в составе специализированного экскаватора и гусеничного самосвала позволяет формировать в нижней части карьера зону с повышенными углами откоса бортов, увеличивая полноту отработки месторождения.

2 Рациональные значения средневзвешенного продольного уклона транспортных коммуникаций для гусеничного самосвала лежат в пределах от 15 до 30%, что в 2-3 раза более, чем при использовании традиционных погрузочно-транспортных комплексов.

Научная новизна работы заключается в том, что:

- установленные автором взаимосвязи между параметрами погрузочно-транспортных процессов и техническими параметрами углубочного комплекса развивают направление открытых горных работ, связанное с изысканием путей увеличения полноты отработки месторождений и сокращения объемов вскрышных работ;

- предложенный углубочный комплекс для доработки крутопадающих месторождений в составе специализированного экскаватора и гусеничного самосвала является новым; разработаны технические задания на создание карьерных гусеничных самосвалов;

- впервые обоснованы технологические требования для создания углубочного комплекса на основе предложенных графоаналитической и математической моделей;

- разработан порядок определения и установлены условия эффективного применения углубочного комплекса.

Достоверность полученных результатов обеспечивается соответствием базовым положениям теории и практики открытых горных работ, изложенным в трудах академиков Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, члена-корреспондента РАН В.Л. Яковлева, профессоров М.В. Васильева, М.Г. Новожилова, А.И. Арсентьева, А.А. Кулешова и др., обоснована анализом опыта эксплуатации погрузочно-транспортных комплексов на глубоких карьерах, проектных разработок института «Якутнипроалмаз» в области эффективной добычи и полноты выемки полезных ископаемых на кимберлитовых карьерах Западной Якутии, использованием данных, полученных из технических предложений ведущих машиностроительных предприятий: «УКБТМ», «КБТМ», «Уралмашзавод», - использованием фундаментальных положений математики и классической механики.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы и ее отдельные результаты обсуждены и одобрены на: семинарах лаборатории транспортных систем карьеров и геотехники ИГД УрО РАН, ученом совете ИГД УрО РАН; техническом совещании у директора НТЦ – главного конструктора ПО «БелАЗ»; международной научно-практической конференции «Карьерный транспорт» (г. Жодино, республика Беларусь, 2005, 2006, 2007 г.); VIII международной научно-практической конференции «Проблемы карьерного транспорта» (г. Екатеринбург, 2005 г.), международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2005, 2006, 2008 г.); всероссийской конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса» (г. Екатеринбург, 2005, 2008 г.); международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности» (г. Екатеринбург, 2007, 2009 г.).

Реализация результатов работы. Результаты использовались в научно-исследовательских работах института «Якутнипроалмаз» по разработке технологий, обеспечивающих эффективную добычу и полноту выемки руды при доработке карьеров, проводимых для АК «АЛРОСА».

На основании проведенных исследований подготовлено техническое задание на разработку гусеничного самосвала грузоподъемностью 40 т, используемое при создании ФГУП «УКБТМ» и ФГУП «КБТМ» эскизных проектов и технико-коммерческих предложений на гусеничный самосвал ГС-40.

Результаты исследований послужили теоретической основой для выполнения технико-экономических предложений по применению гусеничных самосвалов, выполненных совместно с ОАО Институт «Уралгипроруда» для Правительства Свердловской области.

Научное значение работы заключается в установлении зависимостей между параметрами погрузочно-транспортных процессов и техническими параметрами специализированного экскаватора и гусеничного самосвала; разработке алго-

ритма определения условий рационального применения углубочного комплекса и выбора его технологических и конструктивных параметров для конкретных горнотехнических условий.

Практическое значение работы состоит в следующем:

1 Обоснована целесообразность применения углубочных комплексов в составе специализированного экскаватора и гусеничного самосвала на кимберлитовых карьерах Якутии.

2 Установлены рациональные условия применения углубочных комплексов, которые рекомендуется применять при разработке технологий по увеличению полноты выемки полезного ископаемого в условиях доработки карьеров.

3 Разработаны технические параметры и конструктивные схемы оборудования, которые рекомендуется применять при проектировании специализированного экскаватора и гусеничного самосвала.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 5 публикаций в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 160 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения и 7 приложений; содержит 65 рисунков, 21 таблицу и список использованной литературы из 128 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность члену-корреспонденту РАН Яковлеву В.Л., докторам технических наук Западинскому А.Л., Зырянову И.В., Конореву М.М., Зубкову А.В., кандидатам технических наук Тарасову П.И., Глебову А.В., Бахтурину Ю.А., Столярову В.Ф., Журавлеву А.Г., Буйначеву С.К. за постоянное внимание к работе, научно-методическую помощь, искреннюю признательность коллегам из лаборатории транспортных систем карьеров и геотехники ИГД УрО РАН, директору НТЦ – главному конструктору ПО «БелАЗ» Егорову А.Н., директору-главному конструктору ФГУП «УКБТМ» Домнину В.Б., начальнику отдела перспективного проектирования Неволину В.М., начальнику конструкторского отдела ФГУП «КБТМ» Лобанову С.В. за сотрудничество, поддержку и ценные критические замечания при выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Одной из основных проблем при разработке карьеров является выбор технологического добычного комплекса, в наибольшей мере соответствующего природным и организационным условиям каждого этапа разработки. Поэтому исследованиям по изысканию областей и условий эффективного применения погрузочно-транспортных комплексов уделяется большое внимание. Основные вопросы технологии открытых горных работ с применением различных видов погрузочно-транспортного оборудования нашли отражение в трудах академиков Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, члена-корреспондента АН СССР А.О. Спиваковского, академика РАН Н.Н. Мельникова, член-корреспондента РАН В.Л. Яковлева, профессоров М.В. Васильева, Арсентьева А.И., В.А. Галкина, М.Г. Новожилова, В.С. Хохрякова, А.А. Кулешова, М.Г. Потапова, В.П. Смирнова и др.

Вопросы оценки и повышения технического, научного и эксплуатационного уровней выемочно-погрузочного оборудования получили развитие в исследованиях академиков К.Н. Трубецкого, Н.Н. Мельникова, профессоров Н.Г. Домбровского, Ю.И. Белякова, А.А. Кулешова, конструктора В.Н. Цветкова и др.

Вопросы выбора и применения горно-транспортного оборудования на карьерах отражены в трудах член-корреспондента РАН В.Л. Яковлева, профессоров А.А. Кулешова, В.П. Смирнова, докторов технических наук Г.И. Солода, А.Н. Даниярова, И.В. Зырянова, Ю.И. Леля, кандидатов технических наук А.Г. Сисина, П.И. Тарасова и др.

В результате указанных исследований создана научная база современных методик проектирования карьеров и управления производственными процессами, основанных на принципах обеспечения высоких экономических показателей. Вместе с тем, в последние годы в связи с истощением минерально-сырьевой базы на ряде карьеров возникает необходимость применения «прорывных» технологий, позволяющих повысить полноту отработки месторождения с использованием высокоэффективных комплексов добычного оборудования. Вопросы эффективного и безопасного применения предлагаемых технологий требуют научно-

исследовательской проработки и обоснования методик выбора горного оборудования.

Анализ состояния и изученности вопроса

Анализ состояния исследуемого вопроса показывает, что в настоящее время проектная глубина кимберлитовых карьеров Западной Якутии составляет от 300 до 610 м. При этом граница разведанных запасов практически на всех рассматриваемых карьерах находится ниже проектного контура, и значительные запасы руды остаются в бортах и под дном карьера. Это связано с тем, что используемая на сегодняшний день технология отработки не дает возможности максимально полно использовать геометрическое пространство карьеров и не позволяет достичь высоких значений угла откоса борта в нижней части карьера. По данным геомеханических расчетов, угол откоса борта на большинстве кимберлитовых карьеров в придонной части может достигать $75-80^\circ$ в то время как фактические углы, определяемые необходимостью расположения транспортных коммуникаций, составляют $48-66^\circ$. Такое занижение угла откоса борта в нижней части приводит к росту объемов вскрышных работ, что ограничивает эффективность и предельную глубину открытых горных работ.

Анализ научных и проектных работ показал, что извлечение дополнительных объемов руды с глубоких горизонтов возможно при реконструкции нижней части карьера с использованием крутонаклонных съездов, что в комплексе с применением высоких уступов позволяет сократить объем вскрыши в контурах обрабатываемых карьеров, повысить предельную глубину открытых горных работ и продлить сроки существования предприятий. Такие технологии предлагаются специалистами Института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» для кимберлитовых карьеров.

Данная технология выполнима при использовании специализированного горного оборудования, способного эффективно работать на ограниченных по ширине рабочих площадках и крутонаклонных съездах, позволяющего создавать новые рабочие горизонты путем интенсивного понижения горных работ. В трудах к.т.н. П.И. Тарасова приводятся предложения по применению углубочных ком-

плексов для работы на глубоких горизонтах карьеров. Однако отсутствует научно-методическая база для определения состава и принципа работы углубочного комплекса, анализа структурных и технологических связей внутри комплекса. Отсутствуют методики обоснования технологических параметров и технико-эксплуатационных показателей оборудования комплекса. Не проведены исследования рациональных условий применения углубочных комплексов, отсутствуют алгоритмы расчетов экономической эффективности внедрения на дорабатываемых карьерах.

Исследование взаимосвязи параметров транспортирования и технических характеристик гусеничных самосвалов

На основании критериев: технической возможности выполнения технологических операций, производительности, энергоемкости и безопасности - проведен анализ соответствия требуемым горнотехническим условиям различных видов существующих и проектируемых транспортных, выемочно-транспортных и погрузочно-транспортных средств (таблица 1), который показал, что наиболее приемлемым для доработки карьеров зоной с транспортными уклонами до 30% является применение самосвалов на гусеничном ходу. При этом эксплуатационные показатели гусеничных самосвалов при равных условиях хуже, чем у других видов транспорта, что ограничивает условия их применения.

Таблица 1 – Возможность выполнения технологических операций машинами, рассматриваемыми в качестве транспортного звена углубочного комплекса

Технологическая операция или технико-эксплуатационный показатель	Степень соответствия/колич. оценка					
	колесные			гусеничные		
	АС	ШСС	КП	ГС	С-Д	ГП
Преодоление продольных уклонов до 30%	-	+(!)	-	+	+	+
Движение по дороге шириной 12-15 м	+(!)	+(!)	+(!)	+(!)	+(!)	+(!)
Транспортировка на расстояние до 1,5 км	+	+	+	+	+	+
Маневры в стесненной рабочей зоне	+(!)	+(!)	+	+	+	+(!)
Движение задним ходом на уклоне	-	-	-	+	+	+(!)
Движение по дороге без спец. покрытия	+(-)	+(-)	+(-)	+	+	+
Движение по рыхлому грунту	+(-)	+(-)	+(-)	+	+	+
Экскаваторная погрузка	+	+	-	+	-	-
Расход топлива	min			max		
Выброс отработанных газов в атмосферу	min			max		
Расход быстроизнашивающихся частей				выше за счет элементов гусеничного хода		

Примечание. Сокращения и условные обозначения, используемые в таблице:

АС - автосамосвалы на пневмоколесном ходу; ШСС - автосамосвалы на пневмоколесном ходу с шарнирно-сочлененной рамой; С-Д - скрепер-дозеры на гусеничном ходу; ГС - гусеничные самосвалы; КП - погрузчики на пневмоколесном ходу; ГП - погрузчик на гусеничном ходу. «+» – операция технически возможна; «-» – операция технически невозможна; «+(!)» – операция имеет высокую вероятность аварийной ситуации; «+(-)» – операция возможна при снижении скорости транспортирования.

Для выбора технологических параметров разрабатываемых технических средств используемая математическая модель должна иметь достаточную точность получаемых результатов расчета, но в то же время не быть избыточно сложной. Поэтому для определения технологических параметров используется подход, базирующийся на использовании аналитических моделей, полученных на основе физических законов и представляющих собой явные зависимости выходных параметров от внутренних и внешних условий. Так, время транспортного цикла (t) как один из основных технологических параметров, характеризующих производительность гусеничного самосвала, представлено аналитической зависимостью (1):

$$t = \frac{L \left\{ (1 - k_{\text{гор}})(G_a + q)\omega_o g + \frac{1}{v_{\text{сн}}} (N_{\text{ДВС}} - N_{\text{в.о}})\eta_{\text{мп}} \right\} + H_n g(G_a + q)}{(N_{\text{ДВС}} - N_{\text{в.о}})\eta_{\text{мп}}} + \frac{Lk_{\text{гор}}}{v_{\text{гор}}} + \quad (1)$$

$$+ t_{\text{м.н}} + t_{\text{о.н}} + t_n + t_{\text{м.р}} + t_p,$$

где L – плечо откатки, м;

$k_{\text{гор}}$ – доля горизонтальных участков в общем расстоянии транспортирования;

G_a – вес гусеничного самосвала, кг;

q – грузоподъемность, кг;

ω_o – основное сопротивление движению гусеницы самосвала;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$v_{\text{сн}}$ – скорость гусеничного самосвала в порожняковом направлении, м/с;

$N_{\text{ДВС}}$ – мощность гусеничного самосвала, Вт;

$N_{\text{в.о.}}$ – средняя суммарная мощность вспомогательного оборудования, работающего при движении гусеничного самосвала, Вт;

$\eta_{\text{мп}}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии (включая гусеничный ход);

H_n – высота подъема горной массы, м;

$v_{\text{гор}}$ – скорость самосвала на горизонтальных участках в грузовом направлении, м/с;

$t_{\text{м.н}}, t_{\text{м.р}}$ – время маневрирования, соответственно, при погрузке и разгрузке, с;

$t_{\text{о.н}}$ – время ожидания погрузки, с;

t_n, t_p – время, соответственно, погрузки и разгрузки, с.

Исследование влияния параметров транспортирования горной массы на требуемые технические и технологические параметры гусеничных самосвалов в конкретных горнотехнических условиях позволяет установить, что производительность гусеничного самосвала (т/ч) растет с увеличением продольного уклона дороги за счет уменьшения расстояния транспортирования (рисунок 1).

Скорость гусеничного самосвала определяется мощностью двигателя, величиной преодолеваемых уклонов, сложностью трассы, типом и состоянием дорожного покрытия. Установлено, что влияние состояния дорожного покрытия на скорость снижается с уменьшением

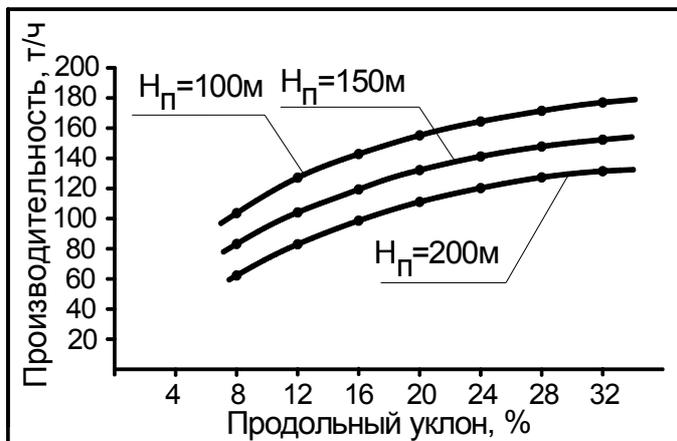


Рисунок 1 – Зависимость производительности гусеничного самосвала ГС-40 от продольного уклона при постоянной высоте подъема H_p

рассматриваемых кимберлитовых карьеров, нецелесообразно.

Грузоподъемность гусеничного самосвала, определяемая в соответствии с требуемой производительностью, ограничивается массой, мощностью и габаритными размерами машины. Проведенные расчеты показали, что для карьера «Комсомольский» целесообразно при-

скорость снижается с уменьшением скорости и увеличением продольного уклона (рисунок 2). Установленный рациональный диапазон скорости от 6 до 10 км/ч достаточен для требуемой производительности гусеничного самосвала, и увеличение скорости, влекущее за собой увеличение мощности, коэффициента тары и габаритов самосвала, для условий

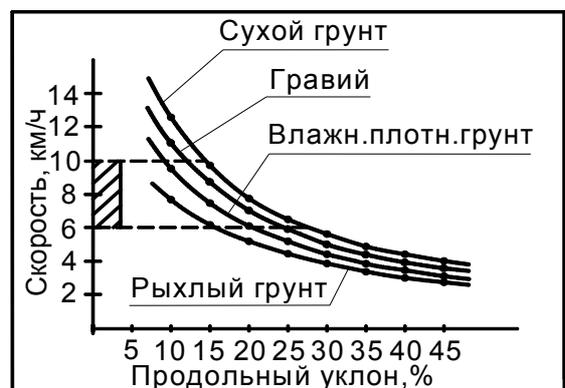


Рисунок 2 – Зависимость скорости гусеничного самосвала ГС-40 от продольного уклона для различных дорожных покрытий

менение гусеничных самосвалов грузоподъемностью 36-40 т. В качестве опытных образцов для работы совместно с колесными автосамосвалами и на строительстве могут использоваться гусеничные самосвалы грузоподъемностью 20-30 т.

Взаимодействие гусеничного движителя с деформируемой поверхностью, результатом которого является создание касательной силы тяги по сцеплению, необходимой для преодоления сил сопротивления движению, определяется следующими факторами: параметрами машины (размеры гусениц, распределение нагрузок); параметрами транспортных коммуникаций (уклоны, макропрофиль пути, кривизна дороги); свойствами грунта (деформации, состав, влажность). Анализ теоретических и экспериментальных данных, полученных рядом исследователей, а также тягово-динамические расчеты позволяют сделать вывод, что при фиксированных конструктивных параметрах гусеничного движителя и определенном среднем давлении опорных поверхностей гусениц на грунт максимальный преодолеваемый уклон ограничивается коэффициентом сцепления φ , определяемым свойствами грунта и ограничивающим силу тяги, развиваемую машиной в данных дорожных условиях (рисунок 3).

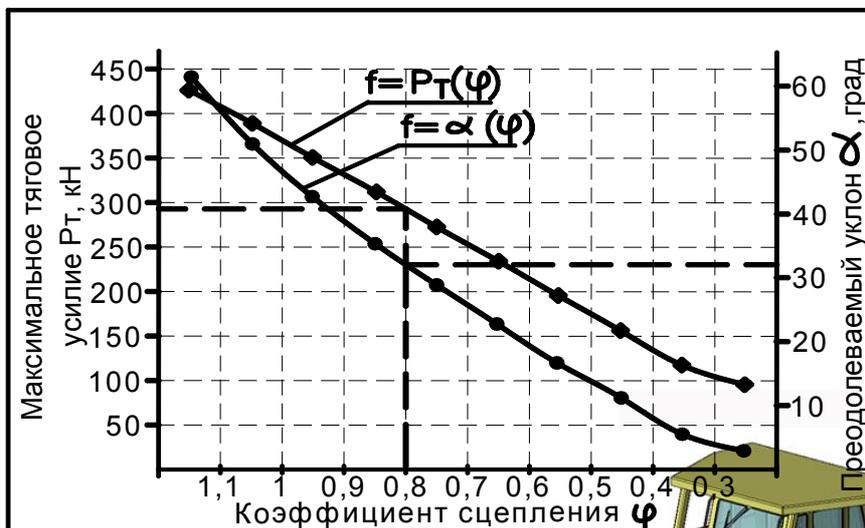


Рисунок 3 – Зависимость преодолеваемого уклона и максимального тягового усилия от коэффициента сцепления

На основе структурирования технологических, горно-геологических, экологических, эксплуатационных факторов и требований безопасности вырабо-

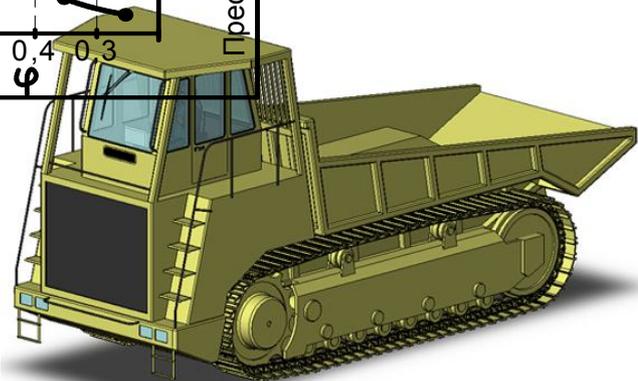


Рисунок 4 – Карьерный самосвал на гусеничном ходу грузоподъемностью 40 т (вариант исполнения)

тана концепция специализированного транспортного средства на гусеничном ходу, по которой разработаны основные параметры и конструктивные схемы для базовых исполнений гусеничных самосвалов (рисунок 4, таблица 2).

Таблица 2 – Технические характеристики гусеничных самосвалов

Параметр	ГС-30П КБТМ	ГС-30 КБТМ	ГС-40П УКБТМ	ГС-40 УКБТМ
Грузоподъемность, т	30	30	40	40
Полная масса, т	60	60	90	90
Тип двигателя	Дизельный	Дизельный	Дизельный	Дизельный
Мощность двигателя, л.с./кВт	1100/810	1100/810	1000/746	1000/746
Расход топлива, г/кВт·ч	210	210	210	210
Максимальная скорость, км/ч	25	25	10	10
Скорость движения с грузом на уклоне 30%, км/ч	до 5	до 5	до 6	до 6
Тип трансмиссии	Гидромехан.	Гидромехан.	Гидростат.	Гидростат.
Число передач вперед/назад	4/2	4/2	2/2	2/2
Тип гусеницы	ОРМШ	ОРМШ	ЗРМШ	ЗРМШ
Тип подвески	торсионы, амортизаторы	торсионы, амортизаторы	балансиры, амортизаторы	балансиры, амортизаторы
Уд. давление на грунт, кг/см ²	-	-	1,4	1,3
Преодолеваемый уклон, %	30	30	32	32
Высота погрузки, мм	3267	3267	3000	3000
Угол поворота платформы, °	360	0	360	0
Объем кузова, м ³	15	15	18	19
Безопасность машиниста	ROPS/FOPS	ROPS/FOPS	ROPS/FOPS	ROPS/FOPS
Габариты (д/ш/в)	8265/3568/3360	8265/3568/3360	10500/3200/4300	9500/3200/4600
Ресурс самосвала до капитального ремонта, не менее, м-час	10000	10000	10000	10000
Гарантийный ресурс гусеничного хода, не менее, м-час	2500	2500	2500	2500
Ресурс двигателя до капитального ремонта, не менее, м-час	10000	10000	10000	10000
Устройство для аварийной остановки машины при спадании (разрыве) гусеницы	В комплекте машины			
Механизм самовытаскивания	В комплекте машины			
Климатическое исполнение по ГОСТ15150-69	ХЛ-1	ХЛ-1	ХЛ-1	ХЛ-1
Емкость ковша экскаватора или погрузчика комплекса, м ³	3	3	4-6	4-6

Сопоставление технических характеристик и технологических параметров гусеничных самосвалов с разными конструктивными схемами по ряду критериев позволило выбрать наиболее предпочтительный для доработки кимберлитовых карьеров Якутии вариант – гусеничный самосвал грузоподъемностью 40 т с ди-

зельным двигателем, гидростатической трансмиссией, без поворотной платформы, с фронтальной разгрузкой, закрытым балансирным гусеничным ходом.

Обоснование технологических параметров погрузки и технических параметров специализированного экскаватора

Особенностью специализированного экскаватора является конструктивная возможность производить экскавацию, перемещение, погрузку горной массы, а также планировочные работы на наклонных рабочих площадках. При проведении выработок с уклоном до 8% отсутствует необходимость применения горизонтирующих устройств, и работа ведется аналогично обычному экскаватору. Техническую возможность производить выемку горной массы на наклонных площадках целесообразно использовать при формировании транспортных коммуникаций в стесненной глубинной зоне карьера, когда продольный уклон съезда может быть увеличен до 30%, а ширина съезда может уменьшаться до 12...15м.

Максимальный уклон рабочей площадки экскаватора, регламентируемый нормами безопасности, ограничивается запасами устойчивости выемочно-погрузочных машин и конструкцией применяемых опорно-поворотных устройств. С целью установления зависимостей технических параметров, влияющих на запас устойчивости, от параметров рабочей площадки выполнено графоаналитическое моделирование процессов работы экскаватора с использованием исходных данных по экскаватору ЭГО-150 производства ОАО «Уралмашзавод», рассматриваемому в качестве прототипа для создания специализированного экскаватора. Моделирование и анализ полученных графиков (рисунок 5) позволяют сделать вывод, что для возможности работы на уклонах до 30% с достаточными запасами устойчивости и необходимыми усилиями копания требуются изменения технических параметров, направленные на повышение продольной и поперечной устойчивости машины, в том числе за счет увеличения линейных размеров ходовой системы (увеличения опорного контура), снижения высоты центра тяжести машины, использования устройств горизонтирования и выносных опор, уменьшения

линейных параметров рабочего оборудования в согласовании с параметрами за-
боя и транспортной машины.

Из графика (рисунок 6) видно, что применение горизонтирующего устрой-
ства на специализированном экскаваторе позволяет снизить влияние уклона рабо-
чей площадки на развиваемое рабочим оборудованием усилие копания.

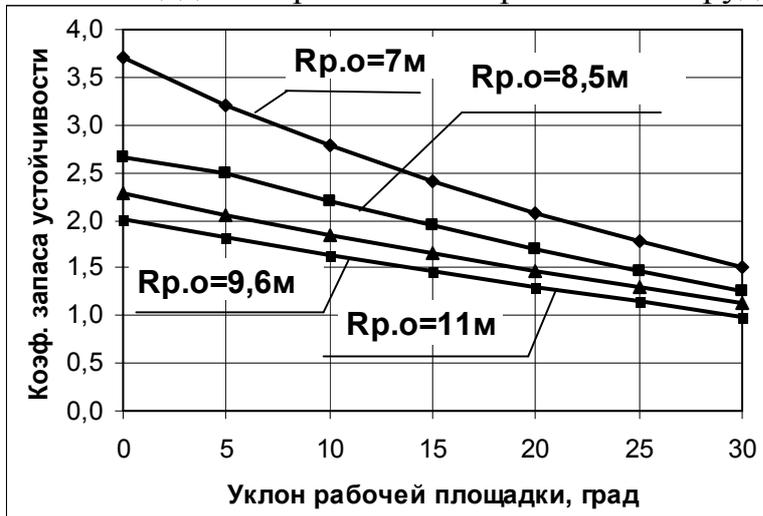


Рисунок 5 – Расчетная зависи-
мость коэффициента за-
паса устойчивости от укло-
на рабочей площадки при
выгрузке груженого ковша
для различных линейных
параметров рабочего обо-
рудование; $R_{p.o}$ – рас-
стояние до центра тяжести рабочего
оборудования

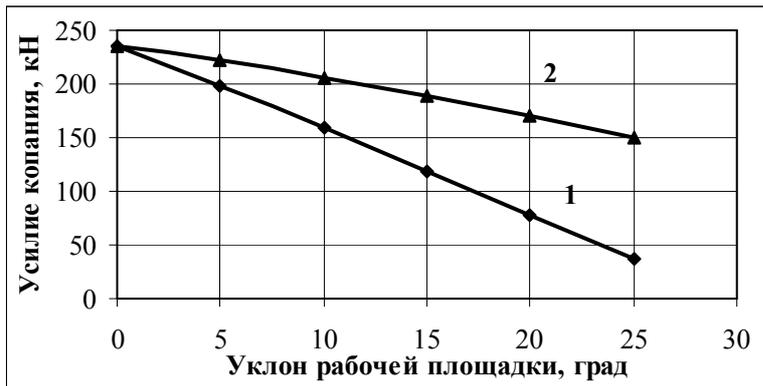


Рисунок 6 – Зависимость
усилия копания углубоч-
ного экскаватора от уклона
рабочей площадки: 1 – для
экскаватора без горизон-
тирующего устройства, 2 –
для экскаватора с горизон-
тирующим устройством

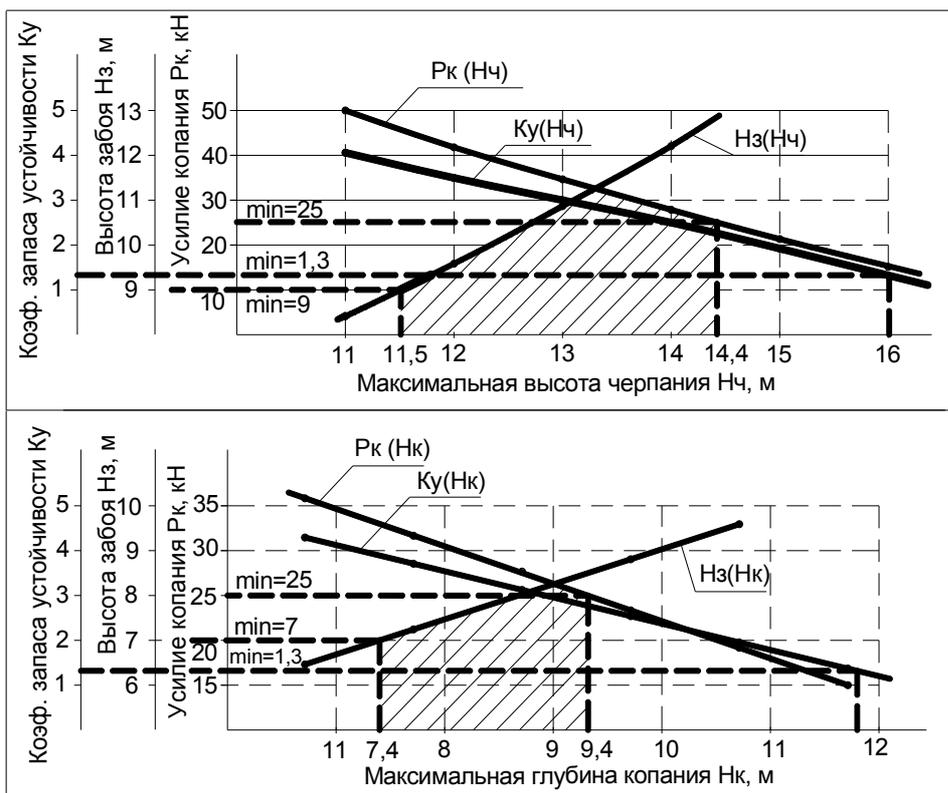


Рисунок 7 – Определение области рациональных значений максималь-

Область рациональных значений максимальной высоты черпания H_c^{max} для прямой лопаты (рисунок 7) и максимальной глубины копания H_k для обратной лопаты (рисунок 8) определяется по предельно допустимым значениям коэффициента устойчивости K_y , усилия копания P_k и высоты обрабатываемого забоя H_z .

Обоснование рациональных условий применения углубочных комплексов

Исследования показали, что использование гусеничных самосвалов для транспортирования на значительные расстояния технологически и экономически невыгодно. Поэтому применение углубочного комплекса целесообразно для доработки карьера ниже контура, определенного по существующим критериям для традиционных экскаваторно-автомобильных комплексов. В этом случае основные положения технологии обработки карьера можно сформулировать следующим образом:

1 Доработка карьера ведется обычным транспортом до минимальных рабочих площадок на дне карьера. При этом контур определяется по существующим методикам на максимальную рентабельную глубину.

2 Формирование новых съездов начинается с выбранной высоты заложения углубочной зоны.

3 После осуществления транспортной связи с дном карьера необходимо продолжить осуществлять добычу полезного ископаемого с углублением карьера.

При множестве факторов, влияющих на параметры рабочей зоны карьера, задача определения области перехода на углубочные комплексы не может быть решена установлением явных аналитических зависимостей. При изыскании рациональных условий применения необходимы математические модели, описывающие формирование нижней части карьера и позволяющие производить оценку

По результатам моделирования получены зависимости объема вскрыши в контуре карьера от продольного уклона спиральной трассы для конкретной высоты подъема при заданных параметрах карьера (рисунок 10), позволяющие провести анализ данных и выбрать предпочтительную высоту перехода на углубочные ком-

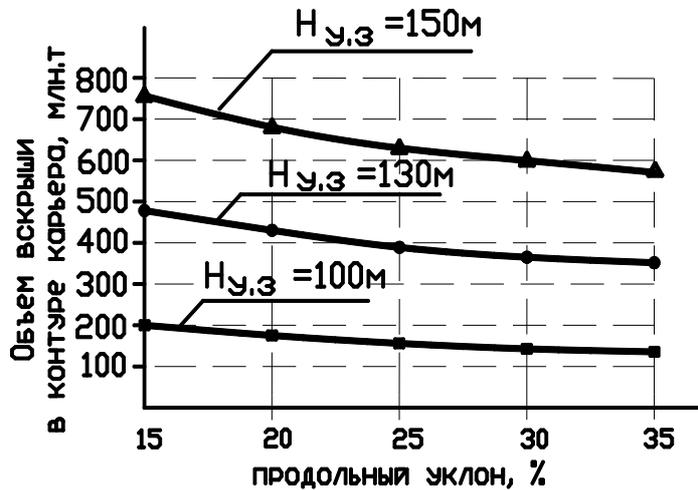


Рисунок 10 – Зависимость объема вскрыши в контуре карьера от продольного уклона в углубочной зоне карьера; $H_{у.з.}$ – высота углубочной зоны, м

плексы по заданному критерию, например граничному коэффициенту вскрыши.

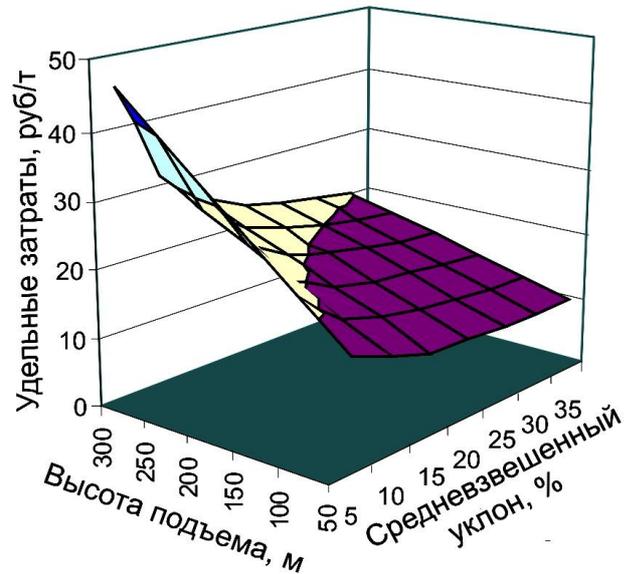


Рисунок 11 – Зависимость затрат на транспортирование горной массы в руб/т от средневзвешенного уклона дороги и высоты подъема

При решении исследовательских задач выбора карьерного транспорта на основе сравнения различных его видов более целесообразно использовать стоимостной показатель - руб/т, позволяющий оценить общие затраты на транспортировку 1 т горной массы без приведения к 1 км пути. На основании аналитических зависимостей получен график, демонстрирующий взаимосвязь себестоимости с параметрами транспортирования (рисунок 11). Установлено, что с увеличением продольного уклона при постоянной высоте подъема себестоимость транспортирования гусеничными самосвалами снижается за счет уменьшения расстояния транспортирования и, следовательно, растет с увеличением высоты подъема при постоянном уклоне.

Эффективность применения любого погрузочно-транспортного комплекса обеспечивается в основном выполнением двух условий: решением поставленных технологических задач и безубыточной эксплуатацией. Поэтому критерий эффективности применения углубочного комплекса основывается на равенстве затрат и доходов от реализации добываемой руды. Графики на рисунках 12 и 13 демонстрируют ограничения условий рационального применения гусеничных самосвалов по средневзвешенному продольному уклону транспортных коммуникаций и высоте подъема горной массы. Установлено, что область рациональных значений продольного уклона для кимберлитовых карьеров Якутии лежит в пределах от 15 до 30% при уклонах съездов до 43%. Рациональная высота подъема горной массы для данного диапазона уклонов ограничивается значениями до 260 м.

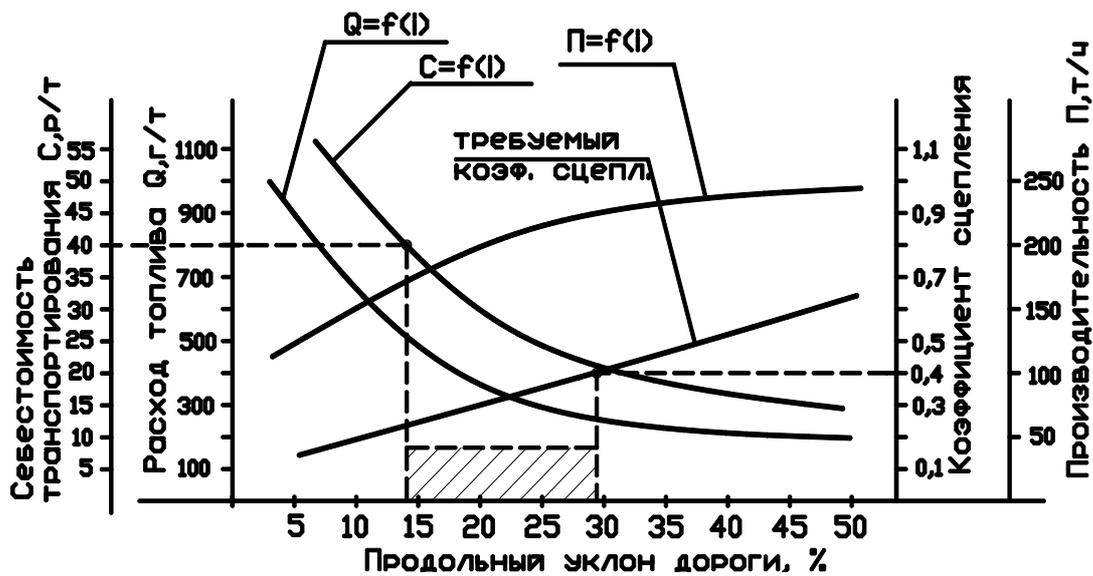


Рисунок 12 - Определение области рациональных значений продольного уклона

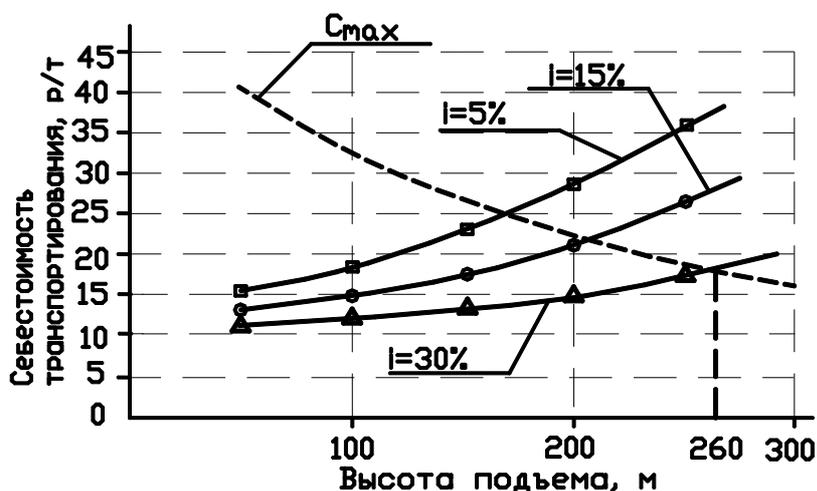


Рисунок 13 - Определение рациональной высоты подъема горной массы по предельно-допустимой себестоимости транспортирования горной массы C_{max}

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований решена актуальная научная задача по обоснованию технологических параметров углубочных комплексов и условий их рационального применения.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1 Увеличить полноту отработки месторождения за счет добычи полезного ископаемого, оставляемого под дном и в бортах карьера возможно, если создать в нижней части карьера, приближающегося к проектной глубине, зону интенсивной углубки с повышенными углами откоса рабочих и нерабочих бортов. Достичь высоких значений угла откоса борта в нижней части возможно, если повышать уклон и уменьшать ширину транспортных коммуникаций и параметры рабочих площадок. Это выполнимо при использовании специализированных углубочных комплексов в составе специализированного экскаватора и гусеничного самосвала, позволяющих существенно - в 2-3 раза, по сравнению с традиционными комплексами, увеличить продольный уклон дорог и рабочих площадок.

2 Исследования современных технических и эксплуатационных характеристик карьерных автосамосвалов, самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой, скрепер-дозеров и гусеничных самосвалов позволили установить, что для работы в сложных горнотехнических условиях с повышенными до 30% уклонами транспортных съездов предпочтительными по технико-экономическим показателям являются карьерные гусеничные самосвалы. Предложены конструктивные схемы и разработаны технические предложения на создание гусеничных самосвалов.

3 Исследования взаимосвязей между технологическими параметрами транспортирования при доработке карьеров и техническими характеристиками гусеничных самосвалов позволили установить следующее:

3.1 Рациональный диапазон скоростей гусеничного самосвала, ограничиваемый мощностью двигателя и техническими возможностями движителя, составляет от 6 до 10 км/ч и является достаточным для требуемой производительности.

3.2 Мощность двигателя гусеничного самосвала грузоподъемностью 40 т для рассмотренных вариантов применения целесообразно выбирать в диапазоне 850...1000 кВт. Нижнее значение определяется необходимым тяговым усилием,

верхнее - ограничивается массой, габаритными размерами, объемами вредных выбросов в атмосферу.

3.3 Рациональная грузоподъемность гусеничных самосвалов для кимберлитового карьера «Комсомольский» в Якутии составляет 36-40 т, определяется в соответствии с требуемой производительностью, ограничивается массой, мощностью и габаритными размерами машины.

4 Разработан алгоритм выбора параметров специализированного экскаватора методом графоаналитического моделирования процесса работы. Предложены средства повышения устойчивости. С учетом результатов моделирования установлена область рациональных значений максимальной высоты черпания и максимальной глубины копания специализированного экскаватора. Для прямой лопаты область рациональных значений лежит в пределах от 11,5 до 14 м, для обратной – от 7 до 9 м.

5 Разработан порядок определения рациональных условий применения углубочных комплексов по критерию предельно допустимой себестоимости добычи полезного ископаемого. Установлено, что рациональный средневзвешенный продольный уклон транспортных коммуникаций находится в диапазоне от 15 до 30%, рациональная высота подъема горной массы ограничена значениями до 260 м.

6 Технико-экономическим расчетом обоснована финансовая реализуемость проекта доработки кимберлитового карьера «Комсомольский» в Якутии с применением ниже отметки 400 м гусеничных самосвалов грузоподъемностью 40 тонн. Чистый дисконтированный доход, полученный нарастающим итогом за 5 лет, составляет 487 млн. руб. При этом экономический эффект по сравнению с применением шарнирно-сочлененных самосвалов достигается в случаях, когда за счет применения гусеничных самосвалов увеличиваются объемы добываемого полезного ископаемого. При равных объемах добычи руды и сопоставимых объемах вскрыши использовать гусеничные самосвалы экономически менее выгодно, чем традиционные и шарнирно-сочлененные автосамосвалы из-за высоких эксплуатационных затрат.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Работы в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:

1 Необходимость создания новых углубочных комплексов для кимберлитовых карьеров Якутии / П. И. Тарасов, А. В. Глебов, В. О. Фурин, А. Г. Ворошилов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №3. – С. 277 - 282.

2 Конструктивные схемы гусеничных самосвалов для работы на повышенных уклонах / П. И. Тарасов, В. О. Фурин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 1. – С. 336 - 343.

3 Новые транспортные средства и комплексы для глубоких карьеров / А. Г. Журавлев, В. О. Фурин и др. // Горный журнал. – 2006. – №8. – С. 35 – 39.

4 Специализированные виды автотранспорта для горнодобывающих предприятий / В. Л. Яковлев, П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев, В. О. Фурин и др. // Горная промышленность. – 2007. – №6. – С. 44 - 50.

5 Конструктивные схемы гусеничных самосвалов для работы в карьерах с повышенными уклонами выработок / П. И. Тарасов, А. В. Глебов, В. О. Фурин и др. // Горная промышленность. – 2008. – №2. – С. 63 - 68.

Работы в научных сборниках, журналах и материалах конференций:

6 Фурин В.О. Необходимость разработки гусеничного самосвала для кимберлитовых карьеров Якутии / В.О. Фурин, А. Г. Ворошилов // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: материалы III Всероссийской научно-технической конференции / УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 2005. – С. 5-7.

7 Яковлев В. Л. Требования к экскаватору для работы на повышенных уклонах / В. Л. Яковлев, А. В. Глебов, В. О. Фурин // Российская школа по проблемам науки и технологий, XXV, посвященная 60-летию Победы: тезисы докладов / МСНТ. – Миасс, 2005. – С. 32.

8 Необходимость разработки и внедрения углубочных комплексов для кимберлитовых карьеров Якутии / В. Л. Яковлев, П. И. Тарасов, В. О. Фурин и др. // Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны: в 3 т.: т. 1: труды Международной научно-практической конференции / ИГДС им. Н. В. Черского СО РАН. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2005. – С. 163 –168.

9 Новый взгляд на карьерный автомобильный транспорт/ В. Л. Яковлев, П. И. Тарасов, В. О. Фурин и др. // Проблемы карьерного транспорта: материалы

VIII Международной научно-практической конференции / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2005. – С. 238 – 246.

10 Конструктивные схемы гусеничных самосвалов для работы на повышенных уклонах / П. И. Тарасов, В. О. Фурин и др. // Уральский горнопромышленный форум: Горное дело. Оборудование. Технологии: сборник докладов / КОСК Россия. Выставочный центр; ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – С. 143-145.

11 Разработка глубоких горизонтов карьеров с применением новых видов транспортных средств / В. Л. Яковлев, П. И. Тарасов, В. О. Фурин и др. // Труды / ДГП ИГД им. Д.А. Кунаева. – Т. 71. – Алматы, 2006. – С. 122 – 130.

12 Фурин В. О. Конструктивные схемы гусеничных самосвалов для карьеров Якутии / В. О. Фурин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов V международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р. Кубачека / УГГУ. – Екатеринбург, 2007. – С.74 - 78.

13 Фурин В. О. Анализ возможности применения скрепер-дозеров для доработки кимберлитовых карьеров Якутии / В. О. Фурин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов V международной научно-технической конференции. Чтения памяти В. Р. Кубачека / УГГУ. – Екатеринбург, 2007. – С. 89 – 93.

14 Тарасов П. И. Экономическая эффективность применения гусеничных самосвалов при доработке кимберлитового карьера / П. И. Тарасов, В. О. Фурин, Д. Б. Никитин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов VI международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р. Кубачека / УГГУ. – Екатеринбург, 2009.– С. 120 - 126.

15 Журавлев А. Г. Технологические показатели гусеничных самосвалов для карьеров / А. Г. Журавлев, В. О. Фурин // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции / УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 2009. – С. 77-79.

Тираж 100 экз. Печ.л. 1,1. Заказ № _____.

Типография Президиума УрО РАН
620219, г. Екатеринбург, ГСП-169, ул. Первомайская, 91