

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



На правах рукописи

КРИВДА ВИТАЛИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

УДК 622.063.88

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ
РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ ПРИ
ПРИМЕНЕНИИ АВТОСАМОСВАЛОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ
КОНСТРУКЦИИ**

**Специальность 05.15.03 – открытая разработка месторождений полезных
ископаемых**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук,
доцент К.М. Басс

Днепропетровск – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА	15
1.1 Состояние и перспективы добычи полезных ископаемых на глубоких горизонтах карьеров	15
1.2 Анализ исследований развития горных работ в глубоких карьерах при применении автомобильного и комбинированного транспорта	19
1.3 Анализ исследований и разработок по повышению уровня эксплуатационно-технических характеристик автомобильного транспорта для обеспечения транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьеров	26
1.3.1 Анализ изученности вопросов обоснования рациональных параметров карьерных автосамосвалов и уклонов карьерных автодорог	26
1.3.2 Анализ граничных условий движения автосамосвала по внутрикарьерным дорогам	32
1.4 Постановка цели, задачи исследований	43
РАЗДЕЛ 2 ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИМЕНЯЕМОГО АВТОТРАНСПОРТА НА ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ	45
2.1 Определение основных направлений повышения эффективности системы разработки при отработке глубоких горизонтов карьера	45
2.2 Обоснование критериев оценки влияния технических возможностей автотранспорта на параметры систем разработки	49
2.3 Обоснование методики интегральной оценки влияния эксплуатационно-технических характеристик автосамосвала на параметры систем разработки	60

2.4 Определение механизма влияния эксплуатационно-технических характеристик автомобильного транспорта на параметры систем разработки глубоких карьеров	61
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	66
РАЗДЕЛ 3 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ	67
3.1 Выбор направления изменения эксплуатационно-технических характеристик карьерных автосамосвалов	67
3.2 Разработка способа изменения межосевого расстояния карьерных автосамосвалов	69
3.3 Моделирование движения автосамосвала с механизмом изменения центра масс и межосевого расстояния по внутрикарьерным дорогам	73
3.4 Обоснование возможных параметров системы разработки при транспортировании горной массы автосамосвалами с механизмом изменения центра масс и межосевого расстояния	83
3.4.1 Разработка технологической схемы движения автосамосвала в карьере	83
3.4.2 Установление конструктивно возможных радиусов поворота автосамосвалов	85
3.4.3 Установление возможных уклонов автодорог по конструктивным параметрам карьерных автосамосвалов	88
3.4.4 Определение рациональной высоты подъема горной массы автосамосвалами при различных уклонах автомобильных дорог	90
3.4.5 Взаимосвязь параметров систем разработки глубоких карьеров и эксплуатационно-технических параметров карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции	94
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	97
РАЗДЕЛ 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ В КОНКРЕТНЫХ ГОРНО-	

ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АВТОСАМОСВАЛОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ	100
4.1 Обоснование выбора объектов для исследований эффективности применения карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции	100
4.2 Технико-экономическая оценка применения карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции при повышенных уклонах автодорог на примере ОАО «Полтавский ГОК»	102
4.2.1 Исследование влияния продольных уклонов автомобильных дорог на объем горно-капитальных работ	102
4.2.2 Технико-экономическая оценка повышения продольных уклонов автодорог на примере карьера ОАО «Полтавский ГОК»	108
4.3 Установление области рациональных параметров рабочих площадок на примере Первомайского карьера ОАО «СевГОК»	120
4.4 Технико-экономическое обоснование уменьшения параметров транспортных коммуникаций на глубоких горизонтах карьера ОАО «Лебединский ГОК»	128
4.4.1 Исследование возможности уменьшения ширины проезжей части автомобильных дорог	131
4.4.2 Исследование возможности уменьшения ширины криволинейного участка автомобильных дорог	136
4.4.3 Формирование автомобильных трасс с учетом глубоких горизонтов в карьере ОАО «Лебединский ГОК»	138
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	149
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт передачи рекомендаций по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня «ОАО Полтавский ГОК»	161

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт передачи рекомендаций по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня в Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины	162
ПРИЛОЖЕНИЕ В Акт внедрения рекомендаций по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня в учебный процесс Государственного ВУЗ «Национальный горный университет»	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Акт внедрения методики определения оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния в расчетах нормативных показателей расхода топлива большегрузных автосамосвалов ОАО «Полтавский ГОК»	164
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Патент Украины №102793 «Задняя подвеска автомобиля с электромеханической трансмиссией»	165
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Математическая модель движения карьерного автосамосвала по дороге с продольным уклоном в программном продукте «Wolfram Mathematica»	166
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Справка о рассмотрении результатов диссертационной работы ООО «БЕЛАЗ Техносервис»	182
ПРИЛОЖЕНИЕ З Зависимость доли пройденного расстояния от величины продольного уклона дороги на условленную высоту, при равных тягово-скоростных параметрах работы привода карьерного автосамосвала	183
ПРИЛОЖЕНИЕ И Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня	184

Введение	186
И.1 Общая информация о конструкции механизма изменения центра масс и межосевого расстояния для карьерных автосамосвалов белаз	187
И.2 Рекомендации по использованию автосамосвалов с механизмом изменения центра масс и межосевого расстояния в глубоких карьерах	189
И.3 Рациональные параметры систем разработки при использования автосамосвалов с МЦМ	190
И.3.1 Технологически возможные радиусы разворота автосамосвалов с МЦМ	190
И.3.2 Рациональные уклоны автомобильных дорог при использовании автосамосвалов с МЦМ	191
И.3.3 Рациональная высота подъема груза и длина транспортирования	192
И.3.4 Параметры криволинейных участков внутрикарьерных дорог	194
И.3.5 Возможные угол наклона борта карьера, площадь вскрытых запасов и объем вскрышных работ при сокращении ширины и длины транспортных коммуникаций в карьере	197
ВЫВОДЫ	199
ПРИЛОЖЕНИЕ К Методика определения оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния	201

ЛИСТ СОКРАЩЕНИЙ

КАС – карьерный автосамосвал

МСТТ – многомассовая система твердых тел

МЦМ – механизм изменения центра масс и межосевого расстояния

НТП – нормы технологического проектирования

ЭМТ – электро-механическая трансмиссия

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Удельный вес открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых достигает 85%, поскольку при этом способе добычи возможно использование мощного и высокопроизводительного оборудования, что обеспечивает низкую себестоимость добычи. Однако с увеличением глубины карьеров возникает ряд технологических сложностей в обеспечении необходимого уровня добычи, подготовки вскрытых запасов и транспортировании горной массы на поверхность.

Это обуславливается применением для транспортирования горной массы в условиях отработки глубоких горизонтов карьеров автомобильного транспорта, который, по сути, является единственным способом доставки груза до перегрузочного пункта или на поверхность. Однако при его применении происходит технологическая консервация участков бортов карьеров, что существенно ограничивает их подвигание в связи с большой протяженностью трасс, шириной проезжей части двухполосных дорог и маневровых площадок на перегрузочных пунктах. Как результат ограничивается зона вскрытых запасов и в дальнейшем снижается производительность карьера.

Переход к применению автосамосвалов большей грузоподъемности и увеличение глубины отработки запасов только усугубляет проблему, так как параметры транспортных коммуникаций обуславливаются размерами габаритов автотранспорта, а отработка глубоких горизонтов характеризуется стесненными условиями.

Выходом из этой технологической ситуации может быть применение автотранспорта с переменными эксплуатационно-техническими параметрами к параметрам систем разработки в зависимости от горно-геологических условий.

Практическая реализация этого подхода сдерживается отсутствием описания взаимосвязи параметров систем разработки с переменными эксплуатационно-техническими параметрами автосамосвалов, оценки возможных пре-

делов изменяющихся параметров систем разработки глубоких горизонтов и эффективности самой горнотранспортной системы с учетом этих факторов.

В связи с этим, в диссертационной работе решена актуальная научная задача, которая заключается в установлении взаимосвязи параметров систем разработки с регулируемые эксплуатационно-техническими параметрами автомобильного транспорта и пределов их изменения, при отработке глубоких горизонтов железорудных карьеров. Установленные зависимости послужили основой для разработки нового технического решения, позволяющего взаимно адаптировать эксплуатационно-технические параметры карьерных автосамосвалов к параметрам систем разработки карьеров на глубоких горизонтах. Это позволило обосновать рациональные параметры систем разработки глубоких карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции и обеспечить повышение эффективности систем разработки.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационное исследование выполнялось по результатам базовой научно-исследовательской работы ГП–449 № ДР0112U000868 «Гибридизация отечественного бюджетного автомобиля», в которой автор принимал участие, как исполнитель. Данная научно-исследовательская работа выполнялась по научной программе Государственного ВУЗ «Национальный горный университет» в соответствии с планом НИР Министерства образования и науки Украины.

Целью работы является научное обоснование способа повышения эффективности разработки глубоких горизонтов железорудных карьеров.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1) анализ известных исследований по обоснованию параметров систем разработки глубоких горизонтов карьера при транспортировании горной массы автомобильным транспортом;

2) интегральная оценка влияния эксплуатационно-технических характеристик применяемого автомобильного транспорта, на параметры систем разработки глубоких карьеров;

3) разработка способа изменения положения центра масс и межосевого расстояния, и моделирование движения карьерного автосамосвала усовершенствованной конструкции для определения технико-эксплуатационных параметров;

4) разработка методики определения рациональных параметров систем разработки глубоких горизонтов железорудных карьеров с учетом установленной взаимосвязи с технико-эксплуатационными характеристиками карьерных автосамосвала усовершенствованной конструкции;

5) практическая реализация методики определения рациональных параметров систем разработки глубоких горизонтов железорудных карьеров с учетом установленной взаимосвязи параметров систем разработки карьеров с эксплуатационно-техническими характеристиками карьерных автосамосвалов нового технического решения в конкретных горно-технических условиях эксплуатации.

Объект исследований – горнотранспортный процесс при разработке глубоких горизонтов железорудных карьеров.

Предмет исследований – взаимосвязь параметров систем разработки на глубоких горизонтах карьера и эксплуатационно-технических характеристик автосамосвалов нового технического решения.

Методы исследований. В работе применен комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение литературных данных по исследованию взаимосвязей параметров систем разработки глубоких карьеров и эксплуатационно-технических параметров карьерных автосамосвалов – для оценки степени влияния эксплуатационно-технических характеристик применяемого автомобильного транспорта на параметры систем разработки; численное и имитационно-математическое моделирование движения автосамосвалов по внутрикарьерным дорогам – для сравнительного анализа и достоверности результатов исследований; интегральная оценка влияния параметров применяемого автотранспорта на параметры систем разработки – для объективной оценки зависимости параметров и выбора приоритетного направления

их взаимной адаптации; аналитические методы при установлении влияния эксплуатационно-технических характеристик автосамосвалов на параметры систем разработки – для выбора способа эксплуатационно-технической адаптации карьерных автосамосвалов к параметрам систем разработки карьеров; технико-экономический анализ эффективности предложенных решений – для технико-экономической оценки и расчетного экономического эффекта при разработке карьеров.

Научные положения, которые защищаются в диссертации:

1. Уменьшение объемов вскрышных работ для создания транспортных коммуникаций на глубоких горизонтах железорудных карьеров обеспечивается увеличением преодолеваемого продольного уклона и уменьшением радиуса разворота автосамосвала, и достигается за счет регулирования эксплуатационно-технических характеристик карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции.

2. Повышение эффективности разработки глубоких железорудных карьеров на глубоких горизонтах достигается за счет взаимной адаптации параметров систем разработки и эксплуатационно-технических параметров применяемых карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции, с рекомендуемым способом изменения положения центра масс и межосевого расстояния в пределах 14 – 23 %.

Научная новизна полученных результатов:

1. Впервые установлена взаимосвязь между параметрами системы разработки карьера (ширина карьерной автодороги, ширина площадки для размещения петли разворота, ширина рабочей площадки) и эксплуатационно-техническими характеристиками автосамосвалов на основе интегральной оценки, что позволило обосновать целесообразный способ улучшения эксплуатационно-технических характеристик автосамосвалов.

2. Впервые установлена взаимосвязь между величиной межосевого расстояния автосамосвала, а также радиусом поворота, определяющими угол откоса борта карьера и объем вскрышных работ при создании транспортных комму-

никаций на глубоких горизонтах, что позволило обосновать возможный объем уменьшения вскрышных работ.

3. Впервые предложено техническое решение по улучшению эксплуатационных характеристик автосамосвала, которое заключается в управляемом изменении тяговых характеристик, радиуса поворота автосамосвала в зависимости от геометрии участков трассы, что позволит повысить производительность автосамосвалов и уменьшить объемы целиков под транспортными коммуникациями.

4. Впервые доказано повышение эффективности систем открытой разработки железорудных месторождений на глубоких горизонтах, которое обеспечивается за счет сокращения объемов вскрышных работ и повышения производительности карьера по полезному ископаемому при извлечении ранее законсервированных запасов в результате эксплуатации автосамосвалов с предложенным способом регулирования эксплуатационно-технических характеристик.

Практическое значение и реализация полученных результатов состоит в следующем:

1) разработаны «Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня», которые переданы в ОАО «Полтавский ГОК» для использования в технико-экономическом обосновании технологических решений при корректировке разделов проектов горнотранспортных работ, (Приложение А);

2) разработаны «Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня», которые переданы Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, для использования в прогнозах перспективного развития горнорудных предприятий Украины, (Приложение Б);

3) разработаны «Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного

оборудования нового технического уровня», которые внедрены в учебный процесс Государственного ВУЗ «Национальный горный университет», при подготовке студентов кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства по направлению 6.070106 «Автомобильный транспорт» специальности 7.07010601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» (Приложение В);

4) разработана «Методика определения оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния», которая передана в ОАО «Полтавский ГОК», для использования при расчетах нормативных показателей работы большегрузных автосамосвалов на глубоких горизонтах карьера Полтавского ГОКа, (Приложение Г);

5) для повышения эффективности параметров систем открытой разработки карьеров на глубоких горизонтах – уменьшения радиусов поворота, увеличению преодолеваемого продольного уклона автодороги предложен способ изменения положения центра масс и межосевого расстояния, на который получен патент Украины №102793 «Задняя подвеска автомобиля с электромеханической трансмиссией», (Приложение Д), который позволяет в процессе движения автосамосвала регулировать величину этих параметров в большую или меньшую сторону;

6) для условий карьеров ОАО «Полтавский ГОК» и ОАО «Лебединский ГОК» расчетный экономический эффект составляет соответственно 74,0 и 542,3 млн. грн. и обеспечивается уменьшением объемов вскрышных работ и вскрытием запасов в охранных целиках.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: использованием фундаментальных положений открытой разработки месторождений, корректностью поставленных задач, сформулированных в диссертации, использованием апробированных методов исследования, обоснованием допущений и начальных условий для использования в математической модели движения автосамосвала; сходимостью результатов математического моделирования составляет 90%.

Личный вклад автора. Автором самостоятельно определены цель, идея, задачи исследований, сформулированы научные положения и выводы; установлены зависимости изменения эксплуатационных и технических показателей автотранспорта от величины продольного уклона автодорог; проведены смоделированные экспериментальные исследования движения автосамосвала в карьере, на основании которых выполнены теоретические исследования по установлению взаимосвязи параметров систем разработки с эксплуатационно-техническими характеристиками автосамосвалов. Разработаны «Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня», «Методика определения оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния»

Апробация результатов диссертации.

Основные положения и результаты диссертационной работы были доложены, обсуждены и одобрены на международных научно-практических конференциях «Естественные и технические науки» (Москва 2011 г.), «Современное машиностроение наука и образование» (Санкт Петербург 2012, 2013г.), «Наукова весна» (г. Днепропетровск 2011, 2012, 2013 г.), «Потураевские чтения» (г. Днепропетровск 2013 г.), на конференции молодых ученых «Геотехнические проблемы разработки месторождений» (Днепропетровск, 2013 г.), «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту» (Днепропетровск, 2014, 2015)

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 15 работах, в том числе 9 статей в специализированных изданиях (2 без соавторов, 2 на иностранном языке), получено 2 патента Украины, четыре публикации - материалы конференций (три без соавторов).

Структура и объем работы. Дисертація містить 212 сторінок машинописного тексту з 39 малюнками (1 на окремих сторінках), 18 таблиць, список використаних джерел з 114 найменувань на 13 сторінках, 10 приложений на 51 странице.

РАЗДЕЛ 1

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

1.1 Состояние и перспективы добычи полезных ископаемых на глубоких горизонтах карьеров

Как свидетельствует анализ добычи полезных ископаемых в мире, удельный вес открытой разработки достигает 70 – 85 % с тенденцией перехода к нему, как к основному.

Современный этап развития открытого способа добычи полезных ископаемых характеризуется значительным увеличением глубин разработки.

За последние 15 лет глубина рудных карьеров увеличилась на 100 – 150 м и составляет в настоящее время в среднем 270 – 380 м, а в ближайшей перспективе достигнет 400 – 550 м. С увеличением темпов развития горнодобывающей отрасли и необходимости обеспечения постоянной производительности по сырой руде в обозримом будущем, глубины карьеров достигнут отметки 600 – 1000 м. Особенно это характерно для карьеров, отрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения.

Основная часть балансовых запасов железных руд Украины сосредоточена в Кривбассе, где 75 % добычи руд осуществляется открытым способом четырьмя горно-обогатительными комбинатами (Южный, Северный, Центральный, Ингулецкий) и горно-обогатительным комплексом "Арселор Миттал Кривой Рог". Показатели работы железорудных ГОКов Кривбасса и Полтавского ГОКа Кременчугского месторождения приведены в таблице 1.1.

В связи с интенсивным понижением горных работ глубина карьеров (см. таблицу 1.1) достигла 300 – 350 м и такую же высоту во многих случаях составляет рабочая зона, что говорит о подвигании практически всех уступов рабочего борта. Одновременно, в рабочей зоне карьера применяют несколько технологий: цикличную и циклично-поточную (ЦПТ), которые включают та-

кие виды транспорта, как автомобильный, железнодорожный, автомобильно-железнодорожный, автомобильно-конвейерный. Этот комплекс технологий и видов транспорта представляет сложную геотехнологическую систему. При этом для каждой из технологий, которые составляют систему, необходима разработка рациональных схем вскрытия горизонтов с соответствующими параметрами.

Таблица 1.1 – Производственные и технические показатели работы железорудных ГОКов Кривбасса

Наименование показателя	Наименование ГОКа (карьеров)					
	Северный (Анновский / Первомайский)	Центральный (№1; / №3; / №4)	Южный	Ингулецкий	Полтавский	"Арселор Миттал Кривой Рог" (№2; / №3)
Добыча сырой руды, т/год	25,0	10,0	22,0	34,7	22,0	22,5
Объем вскрышных пород, млн. м ³ /год	17,14	11,68	6,46	13,57	9,41	7,73
Коэффициент вскрыши, м ³ /т	0,69	1,17	0,29	0,39	0,43	0,34
Глубина карьера (ов)	260 / 565	300	370	415	320	135 / 235
Размеры карьера (ов) по поверхности, м	5000 х 1200/ 3000 х 2400	1000 х 2700	2500 х 3000	3600 х 2500	1500 х 3800	3000 х 2200
Размеры карьера (ов) по дну, м	1780 х 360/ 1140 х 660	2000 х 250	720 х 500	1000 х 240	1400 х 500	2500 х 250
Применяемый вид транспорта по руде	авто-конв. / авто-ж/д	авто-конв. / авто-ж/д / авто	авто-конв.	авто-конв.	авто	авто-конв. / авто-конв.
Применяемый вид транспорта по вскрыше	авто-ж/д / авто-ж/д	авто-ж/д/ авто-ж/д/ авто	ж/д, авто-конв.	авто-ж/д	авто	авто-ж/д / авто-ж/д

Поскольку обработка крутопадающих залежей ведется по углубочным системам разработки, то дальнейшее развитие открытого способа разработки таких месторождений связано с сокращением активной рабочей зоны, интенсивным понижением горных работ в рудной зоне, сокращением вскрытых запасов, уменьшением ширины рабочих площадок, увеличением количества обслуживаемых забоев, усложнением условий транспортного обеспечения рабочих уступов, увеличением расстояния транспортирования горной массы, снижением производительности горнотранспортного комплекса по выемке вскрышных пород. Анализ параметров показал, что рациональное использование внутрикарьерного пространства, увеличение рабочей зоны и уменьшение целиков возможно при применении автотранспорта усовершенствованной конструкций за счет рациональных параметров автодорог (ширина рабочих площадок, радиус закругления криволинейных участков, параметры петлевых съездов).

На современных отечественных и зарубежных карьерах ведущая роль принадлежит мощному высокопроизводительному горнотранспортному оборудованию. За последние 10 – 15 лет произошел переход к использованию экскаваторов с вместимостью ковша 5 – 8 м³ на машины с ковшом 12 – 20 м³, а грузоподъемность применяемых автосамосвалов за этот же период увеличилась на 15 – 20 %. Кроме того, создаются еще более мощные высокопроизводительные машины, которые найдут свое применение в ближайшем будущем в карьерах Кривбасса. Соответственно расширению возможностей оборудования изменяются параметры систем разработки (высоты вскрышных уступов, ширина берм, параметры транспортных коммуникаций и т.д.).

При современных технологиях ведения горных работ на глубоких карьерах транспортные расходы составляют более 60 – 70% от общих затрат на добычу горной массы. Практически на всех карьерах Кривбасса (см. табл. 1.1) для транспортировки руды применяется автомобильно-конвейерный транспорт, за исключением карьеров №3 и №4 ЦГОКа и карьера ПГОКа, а для

транспортировки пород вскрыши – автомобильно-железнодорожный транспорт.

При интенсивном понижении горных работ, которое происходит при применении циклично-поточной технологии, появляется значительное отставание по отработке скальных пород вскрыши в средней части рабочей зоны (циклическая технология). Возможная производительность карьера A_p , согласно норм технологического проектирования [1], может быть определена по формуле:

$$A_p = h_z \cdot S_p \cdot \rho \cdot \frac{1-r}{1-v}, \text{ т} \quad (1.1)$$

где h_z – скорость понижения добычных работ, м/год;

S_p – площадь рудного тела, в пределах которой осуществляется понижение горных работ, м²;

ρ – плотность руды в недрах, т/м³;

r – эксплуатационные потери руды, доли единицы;

v – коэффициент весового разубоживания.

В последние годы отмечается существенное повышение темпов добычи с углубкой карьера, что в дальнейшем приведет к еще большему отставанию вскрышных работ и, как следствие, к консервации запасов руд, добычу которых осуществлять будет экономически нецелесообразно.

Следует также отметить снижение производительности транспортного комплекса при понижении горных работ ниже проектной глубины на каждые 100 м понижения снижается производительность автосамосвалов на 25 – 39 %, локомотивосоставов – 8,5 – 20 % [2]. Таким образом, при понижении горных работ одной из важных проблем является транспортное обеспечение.

Таким образом, глубины карьеров Кривбасса достигли величины, при которой необходимо принимать технические решения о дальнейших направлениях добычи железных руд, обеспечивая экономичность, экологичность и необходимую производительность. Это необходимо потому, что технические

решения могут разрабатываться продолжительный период, за который горные работы достигнут граничной глубины карьеров, при которой принимать технические решения будет уже поздно. Поэтому возникает необходимость в обосновании параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом поддержания производительности, обеспечения своевременной подготовки (вскрытии) запасов и применения высокопроизводительного современного горнотранспортного оборудования.

1.2 Анализ исследований развития горных работ в глубоких карьерах при применении автомобильного и комбинированного транспорта

Задачи определения параметров карьера решаются в первую очередь проектными организациями на предпроектной стадии разработки месторождения, а также непосредственно горнодобывающими предприятиями для поддержания минерально-сырьевой базы за счет эксплуатации месторождений с ограниченными запасами. В этом случае параметры горных работ и систем разработки определяются нормами технологического проектирования [1, 3] и правилами безопасности [4 – 5] при ведении горных работ открытым способом.

Практика открытой разработки крутопадающих месторождений показывает, что с понижением дна карьера резко увеличивается объем выемки пород вскрыши. Уменьшить его абсолютную величину можно, увеличив граничные углы откоса бортов карьера. Текущие объемы выемки вскрыши при неизменных объемах добычи руды изменяются в зависимости от угла откоса рабочих бортов карьера [5 – 11]. Технологически увеличение углов откосов как нерабочих, так и рабочих бортов достигается при поэтапной разработке месторождений крутонаклонными слоями – этапами с концентрацией горных работ на одном из бортов или части уступов. При этом высота рабочей зоны карьера и темп углубки горных работ систематически увеличиваются [12]. В перечис-

ленных работах не рассматривается взаимосвязь между подготовленными к выемке запасами и параметрами горнотранспортного оборудования.

Известно, что производственная мощность зависит от параметров рабочей зоны: глубины карьера, высоты его рабочей зоны, темпа (скорости) понижения горных работ и производительности горнотранспортного комплекса.

С развитием горных работ в глубину изменяются расстояние транспортирования горной массы, объемы и направление грузопотоков, конструкция погрузочно-транспортного оборудования и средства механизации вспомогательных процессов. В соответствии с этим изменяется эффективность применения каждого способа транспортирования.

Так, для управления производственной мощностью глубокого карьера необходимо учитывать параметры формирования его рабочей зоны. Автор работ [12 – 17] считает, что все параметры зависят от принятого в карьере режима ведения горных работ.

В работе [18] А.А. Рыкус исследовал условия работы автосамосвалов в глубоких железорудных карьерах. Привел рекомендации по техническому, технологическому и организационному обеспечению для повышения эффективности их эксплуатации. Для карьера Полтавского ГОКа при разработке глубоких горизонтов рекомендуется эксплуатировать автосамосвалы грузоподъемностью 91 т, поскольку ширина их кузова меньше на 1 – 2 м, то необходимая ширина дороги также будет меньше, следовательно, можно достичь большего значения угла откоса рабочего борта. В тоже время, в работе [18] не рассматривается вопрос применения автосамосвалов грузоподъемностью свыше 100 т.

Для поддержания заданного режима ведения горных работ при увеличении объемов вскрыши необходимо увеличивать производительность применяемого технологического комплекса по выемке пород вскрыши. В работах [19 - 20] А.С. Пригунов на основе теоретических и экспериментальных исследований показал, что основным направлением развития открытой разработки полезных ископаемых является поточная технология разработки взорванных

скальных пород комплексами непрерывного действия, что позволило бы существенно увеличить производственную мощность глубоких карьеров. Однако в его работах не рассматривается вопрос практической реализации ввода конвейерного транспорта на большие глубины, а применение автотранспорта в комплексе непрерывного действия невозможно.

Авторы работ [21, 22] рекомендуют увеличить углы откоса рабочих бортов до предельно возможного значения, вплоть до уровня граничных по условиям устойчивости. В [23 – 27] предлагается реализовать это техническое решение путем увеличения высоты уступов по породам вскрыши. Изменение высоты уступа способствует увеличению угла наклона борта карьера, который также зависит и от ширины рабочей площадки. Однако, авторами указанных работ не рассматривается изменение параметров отработки глубоких горизонтов карьера при изменении технологических параметров горнотранспортного оборудования.

В работах [28 – 30] авторы исследовали технологические схемы отработки крутых слоев при поэтапной разработке крутонаклонных месторождений, обобщили результаты исследований и опыт проектирования технологических схем, которые обеспечивают необходимую интенсификацию их производства и достижение заданной производственной мощности карьера по руде. Получена функциональная зависимость влияния формы трассы и параметров вскрывающих выработок на объем горной массы в контурах карьера. Установлено, что при глубинах карьера 300 – 500 м и радиусах дна 100 – 200 м реальный объем горных работ по проведению спиральной трассы в процессе реконструкции карьера в 1,5 – 2 раза превышает объем работ, рассчитанный по общепринятым формулам [1, 4], что необходимо учитывать при проектировании схемы транспортных коммуникаций. Однако в этих работах не установлено изменение параметров систем разработки карьера при различных видах транспорта и при изменении эксплуатационно-технических параметров отдельного вида применяемого транспорта.

В работах М.Г. Новожилова [23], А.Ю. Дриженко [13], В.В. Ржевского [31], В.Л. Яковлева [32], М.В. Васильева [33], В.С. Хохрякова [34] введение в эксплуатацию новых мощных транспортных средств (тяговых агрегатов, карьерных автосамосвалов и др.) признается основной стратегией повышения экономической эффективности открытой разработки.

Сложность современных транспортных схем и многообразие условий их применения обусловили теоретические исследования по изучению закономерностей выбора типа и структуры карьерного транспорта [33, 35 – 37]. В последние десятилетия прошлого века многими авторами [32, 38 – 44] были изучены различные горнотехнические, горно-геологические, организационные и другие факторы, оказывающие влияние на эффективность карьерного транспорта. Эти факторы, а также структурные изменения транспорта, стали основными признаками систематизации [32, 36, 44] транспортных комплексов при их большом многообразии и сложности. Как отмечает академик Н.В. Мельников [44], основной признак технологической схемы транспорта – направление грузопотоков и взаиморасположение транспортных коммуникаций, связывающих пункты погрузки горной массы с пунктами назначения ее транспортировки. Однако такой подход не отражает изменений структуры транспортного комплекса в технологической схеме. Как правило, перемещение транспортных коммуникаций и перегрузочных пунктов не вызывают изменений в параметрах систем разработки.

В работах [39, 45 – 46] исследованы различные аспекты влияния вида транспорта и структуры горнотранспортного комплекса карьера на формирование его рабочей зоны. Огромное влияние на основные параметры карьера и распределение погоризонтных объемов выемки оказывает технический прогресс в горном машиностроении. Переход на использование более мощных транспортных машин сопровождается пересмотром конструкции транспортных берм, корректировкой конструкций проектных бортов карьера и изменением границ открытых горных работ.

Основными параметрами транспортного комплекса является высота подъема, расстояние транспортирования [33, 36, 47], шаг переноса перегрузочных пунктов [35 – 37, 48], количество одновременно работающих перегрузочных пунктов, расположение перегрузочного пункта в группе уступов, уклон автодорог и т.д.

По мнению авторов работ [32, 41] одним из главных параметров, определяющих условия эффективности применения различных видов и типов транспорта, следует считать расстояние перевозки. В 70 – 80-х прошлого века считали, что экономически выгодное расстояние откатки должно быть не более 3 км [33] для карьерных автомобилей грузоподъемностью 70 – 80 т, а для самосвалов грузоподъемностью 100 – 120 т до 7 км [49]. Расстояние перевозок зависит от высоты расположения перегрузочного пункта, скорости понижения горных работ. Эти параметры должны быть дифференцированы по зонам карьера [50], поскольку от них зависит расход дизельного топлива, шин, снижается производительность автотранспорта и др. [35, 51].

Среднее расстояние транспортировки, как правило, определяется по средней высоте подъема, коэффициенту развития трассы и ее руководящему уклону. В некоторых расчетах учитывают и высоту рабочей зоны [52]. Однако высокая эффективность автомобильно - конвейерного комплекса не всегда достигается при минимальных расстояниях перевозки [22]. Совершенно очевидно, что этот параметр не полностью характеризует транспортную систему, поэтому целесообразно учитывать также высоту подъема, которая в результате интенсивного понижения горных работ непрерывно увеличивается. Авторами работ [22, 52] рассматриваются вопросы подъема горной массы по высоте, а горизонтальные перемещения автосамосвалов в большей части определяются параметрами карьера в плане и направлением перемещения рабочей зоны, поэтому далее не рассматриваются.

Известно, что по мере воздействия на эксплуатационные показатели автосамосвалов и их техническое состояние, можно управлять высотой подъема горной массы, которая зависит также от принятой системы разработки, глуби-

ны карьера, состояния горных работ и положения перегрузочного пункта на определенный период эксплуатации [39]. При этом высота подъема горной массы определяет положение перегрузочного пункта по отношению к нижнему горизонту рабочей зоны [22, 46].

В целом, высота расположения перегрузочного пункта при переходе к вскрытию очередного горизонта должна быть такой, чтобы в процессе использования этой схемы высота подъема горной массы автосамосвалов с нижнего горизонта до перегрузочного пункта не превышала предельную, определенную по нагреву двигателей самосвала [22].

Расстояние перевозок автотранспортом меняется от минимального в начале работы перегрузочного пункта, до максимального, когда доставка руды с нижележащих уступов может увеличиваться по вертикали до 100 – 120 м. До высоты подъема 120 м отношение различных исследователей было неоднозначным. В начале 1960-х годов было принято считать, что рациональная высота подъема автотранспортом зависит от производительности карьера. В 1970-х годах считали, что автомобильный транспорт с успехом может применяться (самостоятельно и в комбинации) при глубинах разработки до 80 – 100 м [53]. В 1980-х годах сложилось мнение, что главным условием эффективного применения автомобильного транспорта в комбинированных схемах, является такое расположение и своевременный перенос перегрузочных пунктов, при которых высота подъема ограничена 60-80 м, а в исключительных случаях может достигать 100 м. В работе [52] автор считает, что необходимо стремиться к максимальному сокращению высоты подъема до перегрузочных пунктов. По его мнению, для автомобилей 75 т и более высота подъема должна достигать 80 – 100 м.

Автор работы [54] определил области рационального применения различных видов транспорта (см. рис.1.1) в зависимости от производительности карьера.

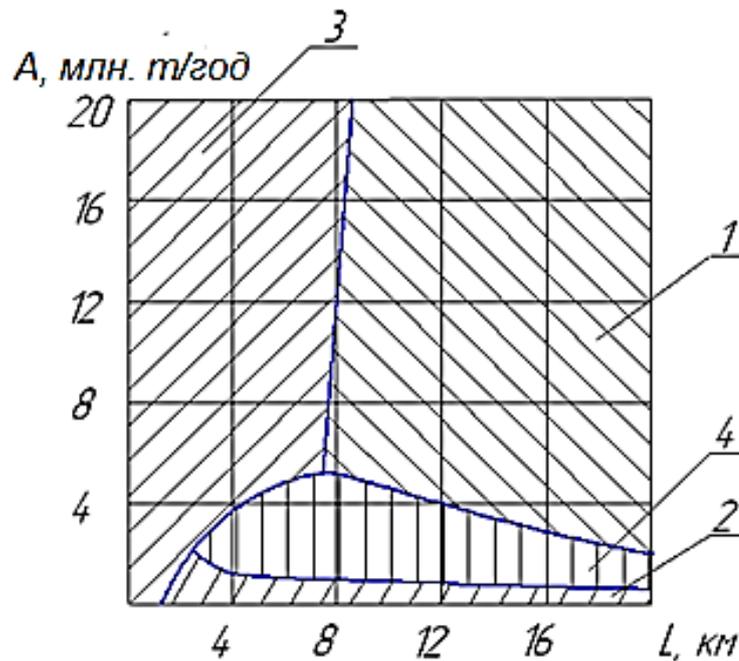


Рисунок 1.1 – Область применения различных видов транспорта в зависимости от производительности карьера A и расстояния транспортирования L : 1 – железнодорожный транспорт; 2 – автотранспорт; 3 – конвейерный транспорт; 4 – канатные линии

Из рис.1.1 следует, что при небольшой производительности карьера применение автотранспорта рационально при больших расстояниях. При достаточно большой производительности карьера конвейерный транспорт оказывается выгодный даже при малых расстояниях перевозок.

Таким образом, с глубоких горизонтов карьера, когда производительность карьера снижается, повышается угол транспортирования горной массы, уменьшается размер рабочей зоны – рациональнее использовать именно автомобильный транспорт.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что автомобильный транспорт является единственно возможным средством транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьера. Также в ранее выполненных исследованиях отмечается, что параметры автотранспорта и его эксплуатационно-технические характеристики влияют на параметры систем разработки глубоких горизонтов карьеров. Однако, в проанализированных работах не установ-

лена явная взаимосвязь между эксплуатационно-техническими характеристиками карьерного автотранспорта и параметрами систем разработки, а из рекомендаций следует, что для обеспечения эффективности выемки полезного ископаемого на глубоких горизонтах рациональным является применение автосамосвалов грузоподъемностью до 100 т. При этом в современных карьерах применяются автосамосвалы большей грузоподъемности из соображения сокращения эксплуатационных расходов.

Таким образом, современный подход к добыче полезных ископаемых из глубоких карьеров недостаточно обеспечен исследованиями и предложениями по обоснованию рациональных параметров систем разработки в условиях внедрения новых конструкций автосамосвалов.

1.3 Анализ исследований и разработок по повышению уровня эксплуатационно-технических характеристик автомобильного транспорта для обеспечения транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьеров

1.3.1 Анализ изученности вопросов обоснования рациональных параметров карьерных автосамосвалов и уклонов карьерных автодорог

Проблемы создания и эксплуатации карьерного автомобильного транспорта на открытых горных работах тесно связаны с основными направлениями повышения важнейших показателей эффективности работы транспортного комплекса – производительности и себестоимости перевозок [55 – 57].

Одной из проблем является производство транспортных средств с конструктивными параметрами, соответствующими конкретным (определенным) условиям эксплуатации. На важность учета конкретных условий эксплуатации при создании новой техники для открытых горных работ указывал еще академик Н.В. Мельников [58]: "Развитие горных и транспортных машин на открытых горных работах будущего должно быть подчинено максимальному соот-

ветствию рабочих параметров оборудования горнотехническим и природным условиям эксплуатации месторождений и их рациональному сочетанию при напряженной работе".

Основные научные положения по технологии открытых горных работ с применением автомобильного транспорта изложены в трудах академиков Н.В. Мельникова и В.В. Ржевского, член-корр. В.Л. Яковлева, профессоров М.В. Васильева, М.Г. Новожилова, В.С. Хохрякова, Б.А. Симкина, П.И. Томакова, М.Г. Потапова, К.Н. Трубецкого, А.Н. Шилина, В.А. Михайлова, З.Л. Сироткина, В.П. Смирнова, В.А. Галкина, Ю.И. Анистратова, А.М. Макарова, И.В. Зырянова, Ю.И. Леля, А.С. Довженка [56, 60, 63 – 74].

Дальнейшее всестороннее развитие вопросов разработки месторождений с применением автомобильного транспорта получили в трудах профессора В.С. Хохрякова и профессора М.В. Васильева [59 – 62]. Ими были обобщены и систематизированы теоретические и экспериментальные исследования, а также практические данные отечественного и зарубежного опыта по применению автотранспорта в карьерах, созданы научные основы проектирования и эксплуатации карьерного автотранспорта, предложены методики тяговых и эксплуатационных расчетов, обоснованы области эффективного применения автотранспортных средств и разработаны предложения по их конструктивному совершенствованию.

В трудах В.С. Хохрякова разработаны методики расчетов эксплуатационных параметров карьерного автотранспорта и автомобильных дорог, продолжительности рейса и количества автосамосвалов, скоростей движения, стоимости транспортирования, пропускной способности карьерных автодорог.

В трудах М.В. Васильева [60 – 61] рассмотрены особенности горных работ при комбинированном транспорте, устройство и специфика работы перегрузочных пунктов, взаимодействие различных видов транспорта, зональное распределение автосамосвалов в глубоких карьерах. Однако, автором не уделено должного внимания изучению особенностей режимов движения автоса-

мосвалов. В предложенной методике расчета параметров комбинированного транспорта определение производительности автосамосвалов производится исходя из установившихся скоростей движения на отдельных участках. При этом не учитывается ряд таких факторов, как высота подъема горной массы, сложность внутрикарьерных трасс, эксплуатационно-технические (преодолеваемый уклон дороги, радиус разворота (поворота), высота подъема горной массы) и конструкционные (габаритные размеры, тип трансмиссии, тип подвески и пр.) характеристики автосамосвалов и т.д.

В современных условиях, когда использование автосамосвалов стало доминирующим на отечественных и зарубежных карьерах, ряд выводов отмеченных работ требуют дальнейшего развития и конкретизации.

Установлением закономерностей формирования и развития грузопотоков в системе карьер-отвал и зависимостей между способами ведения горных работ, схемами развития грузопотоков и транспортными затратами успешно занимался В.А. Галкин [56, 71]. Автором разработаны методики: выбора оптимальной схемы вскрытия; совместного планирования горных работ и грузопотоков в карьере; оперативного управления грузопотоками в системе карьер-отвалы. Вместе с тем, предложенный автором критерий «минимум приведенного грузооборота» обеспечивает достаточную точность расчетов автотранспорта только при значительных расстояниях транспортирования.

В.П. Смирнов в работе [68] сделал акцент на обосновании и оптимизации параметров технологического автомобильного транспорта рудных карьеров. На основе результатов комплексных экспериментальных исследований автором установлены закономерности изменения эксплуатационно-технических параметров автотранспорта на различных трассах; разработана методика моделирования транспортного цикла автосамосвалов с гидромеханической и электромеханической трансмиссией и выбора оптимальных экскаваторно-автомобильных комплексов для конкретных условий эксплуатации; обоснованы технико-экономические требования на создание автосамосвалов грузоподъемностью 120, 190, 230, 280 и 320 т. Однако, в работе не нашли

должного отражения вопросы эксплуатации автосамосвалов при различных уклонах автодорог, оценки технических границ применения автосамосвалов с различным типом привода в глубоких карьерах и др. Разработанный автором метод моделирования режимов движения автосамосвалов характеризуется сложностью и высокими требованиями к качеству исходной информации, что ограничивает область его применения.

Работа Ю.И. Леля [65] посвящена методам расчета параметров устойчивой работы автотранспорта глубоких карьеров, где под устойчивой работой понимается работа технологического автотранспорта глубоких карьеров с поддержанием эксплуатационных показателей на относительно постоянном (стабильном) уровне. Обеспечение устойчивой работы предусматривает снижение или компенсацию отрицательного влияния роста глубины карьеров на эксплуатационные и технико-экономические показатели автотранспорта. Особое значение в данной работе имеет метод энергетической оценки различных видов транспорта, на основе которого автором предложена методика оптимизации уклонов автодорог по критерию энергозатрат на подъем горной массы. В то же время, методика требует дальнейшего совершенствования, так как не учитывает особенности работы автосамосвалов в глубоких карьерах и технологические аспекты движения в условиях повышенных уклонов.

Исследованию условий и особенностей работы технологического автотранспорта в карьерах, а также оптимизации уклонов карьерных автодорог до настоящего времени было посвящено ограниченное число работ. В этом направлении следует отметить работы Е. П. Дороненко, В. С. Муна, Э. В. Горшкова [57, 72 – 73].

Работа [73] посвящена исследованию влияния продольного уклона автодорог и глубины карьера на производительность, расход дизельного топлива и затраты на техническое обслуживание и ремонт автосамосвалов. Однако за прошедшее время произошли существенные конструктивные изменения в эксплуатационно-технических характеристиках автосамосвалов и полученные результаты исследований этой работы должны быть уточнены.

В работе [61] достаточно полное отражение имеют технические ограничения уклонов автодорог. Автором разработана методика и выполнены экспериментальные исследования по установлению влияния уклона автодорог на объемы разноса бортов карьеров при использовании автосамосвалов большой грузоподъемности. Однако, в работе недостаточно исследованы взаимосвязи параметров систем разработки карьера с эксплуатационно-техническими характеристиками применяемых типов карьерных автосамосвалов.

Не менее остро с увеличением глубины карьеров стоит вопрос о создании таких автосамосвалов, которые смогут преодолевать большие уклоны дорог при движении на подъем с грузом. Увеличение средневзвешенного уклона карьерных автодорог при увеличении доли участков с уклонами 100-180‰ значительно влияет на эксплуатационные показатели работы автосамосвалов.

В многочисленных научно-технических изданиях, посвященных изучению условий эффективной эксплуатации большегрузного автотранспорта на карьерах, большое внимание уделяется обоснованию уклонов карьерных автодорог и влияние горнотехнических условий на производительность карьерной техники.

Средневзвешенный уклон постоянных карьерных автодорог в условиях неглубоких карьеров составляет 70 – 80‰, при этом длина участков с уклонами 100 – 180‰ достигает 30 – 35 % от общей протяженности автодорог [57, 61, 64, 74]. Однако, наличие и необходимость придерживаться именно таких уклонов сдерживает развитие рабочей зоны карьеров, способствует извлечению дополнительного объема вскрышных пород, что, в общем, негативно отражается на себестоимости добываемых полезных ископаемых.

В направлении совершенствования карьерных автосамосвалов по преодолеваемым уклонам выполнен целый ряд исследований.

Одни разработчики предлагают перевести автотранспорт на гусеничный ход, что, по их мнению, позволит перемещаться по дорогам с уклонами до 200 ‰ [75 – 77]. Однако, при этом существенно снижается грузоподъемность и

скорость такого транспорта. Предлагаемые решения не сопровождаются научным обоснованием и вряд ли могут быть реализованы.

Другим решением проблемы перемещения автосамосвалов в условиях увеличивающихся уклонов дорог является применение автомобильных подъемников, как считают авторы работ [77 – 81]. Суть заключается в перемещении автосамосвалов на участках с уклонами, превышающими технически доступные, на подъемниках.

Учеными и разработчиками предлагаются также конструкции карьерных автосамосвалов троллейвозных и дизель-троллейвозных [77, 82], которые представляют собой тот же самосвал, но только с тяговым электродвигателем, питаемым от контактной сети.

Стоит отметить, что увеличение уклонов карьерных автодорог позволяет производить выемку полезного ископаемого в пределах карьера без дополнительного разноса бортов за счет сокращения транспортных коммуникаций и тем самым повысить экономические показатели открытого способа разработки [82 – 83]. Проблема дополнительного разноса бортов карьеров для размещения вскрывающих выработок является одной из наиболее актуальных проблем разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых открытым способом. Объемы дополнительного разноса бортов в карьерах составляет миллионы и десятки миллионов кубометров вскрывных пород. Это обусловлено тем, что размещение вскрывающих выработок ведет к выполаживанию бортов карьера по сравнению с их устойчивыми значениями. Особенно это характерно для карьеров с небольшой длиной дна, в которых уменьшение протяженности уступов с глубиной происходит наиболее интенсивно. В последнее время этому вопросу посвящено достаточно много исследований [13, 84 – 90].

В вышеперечисленных работах авторами предлагаются различные методики расчета дополнительного разноса бортов карьеров при увеличении уклонов автодорог, а также различные технические решения по увеличению уклонов. Наиболее приемлемым из предлагаемых методов расчета дополнительно-

го разноса бортов является метод Г.Г. Саканцева, учитывающий кривизну борта карьера [90]. Вместе с тем, указанный аналитический метод хоть и является универсальным, но характеризуется большой трудоемкостью и низкой точностью. Эффективность перехода на повышенные уклоны в значительной степени определяется схемой перехода, что не нашло отражения в исследованиях.

В зарубежных исследованиях следует отметить работы [91 – 95], в которых рассматриваются пути совершенствования конструкций карьерных автосамосвалов и условия их эксплуатации на отдельных предприятиях, освещаются вопросы выбора рациональной грузоподъемности автосамосвалов, проектирования, строительства и эксплуатации карьерных автодорог, надежности транспортных систем карьеров, диспетчеризации карьерного автотранспорта и внедрения автоматизированных систем управления.

Выполненный анализ свидетельствует о том, что несмотря на значительное количество исследований по обоснованию рациональных параметров карьерных автосамосвалов и уклонов карьерных автодорог для обеспечения эффективности транспортирования горной массы с глубоких горизонтов до настоящего времени малоизученной остается взаимосвязь параметров систем разработки глубоких карьеров с эксплуатационно-технических характеристик автосамосвалов. К тому же технические разработки и усовершенствования конструкций карьерных автосамосвалов производятся с целью повышения их эксплуатационных свойств, но без учета изменения параметров транспортных коммуникаций, которые оказывают непосредственное влияние на эффективность добычи открытым способом.

1.3.2 Анализ граничных условий движения автосамосвала по внутрикарьерным дорогам

Исходя из проведенного анализа (см. гл. 1.3.1 – 1.3.2 данной работы) можно выделить следующие граничные условия движения автосамосвалов по внутри-

карьерным автодорогам и эксплуатационно-технические и конструкционные характеристики автосамосвалов их определяющие:

- 1) Преодолеваемый уклон дороги:
 - тягово-динамические характеристики автосамосвала;
 - условия безопасности движения;
 - устойчивость автосамосвала;
 - нагрузка на автошины;
 - тепловой режим тягового электрооборудования;

При этом для карьерных автосамосвалов (КАС), работающих на подъем горной массы, определяющее значение имеют ограничения по тягово-динамическим качествам и нагреву тягового электрооборудования. Для КАС, работающих на спуск горной массы, по условиям безопасности и нагрузок на автошины.

- 2) Ширина автодороги:
 - габаритные размеры автосамосвала;
 - скорость движения автосамосвала;
 - радиус поворота (разворота) автосамосвала;

- 3) Высота подъема горной массы:
 - тягово-динамические характеристики автосамосвала;
 - условия безопасности движения;
 - нагрузка на автошины;
 - тепловой режим тягового электрооборудования.

Нормативными документами, регламентирующими величину уклонов автодорог на предприятиях горнодобывающих отраслей промышленности, являются СНиП 2.05.02-91* «Промышленный транспорт» [96], правила безопасности при разработке месторождений открытым способом [4 – 5] и государственные нормы технологического проектирования [1, 3]. Как показывает их анализ, существует жесткая привязка к требованиям, предъявляемым к величине продольного уклона карьерных автодорог технологического назначения, обусловленных необходимо-

стью выполнения планируемых объемов перевозок горной массы и обеспечения безопасности движения.

Согласно СНиП величина продольных уклонов карьерных автодорог назначается в зависимости от интенсивности движения, состава транспортных средств, климатических условий и типа дорожного покрытия с учетом безопасности движения и выполнения объемов горных работ (табл. 1.2).

Наибольшие продольные уклоны на карьерных дорогах II и III категорий допускается увеличивать на 10 %, на карьерных дорогах со сроком действия до одного года – на 30 %.

Таблица 1.2 – Нормативные значения продольных уклонов карьерных автодорог

Нормативный источник	Колесная формула автотранспортного средства	Тип дорожного покрытия, ‰	
		щебеночное	грунтовое
СНиП 2.05.02-91 [98]	4x4, 6x6	150 – 170	120 – 130
	8x6	90 – 110	60 – 70
	6x4	80 – 100	50 – 60
	4x2	60 – 80	40 – 50
	8x6	40 – 60	30 – 40
	6x2	30 – 40	–
	8x2	30	–

Рекомендуемая отраслевыми нормами технологического проектирования (НТП) карьеров величина продольного уклона автодорог при движении с грузом на подъем не должна превышать для автосамосвалов 100 – 110‰. В порожняковом направлении допускаются уклоны до 150‰ при условии обеспечения необходимой длины тормозного пути и создания требуемой шероховатости проезжей части.

В соответствии с требованиями НТП железорудных карьеров проектирование плана и продольного профиля автодорог производится из условия наименьшего ограничения скорости и обеспечения безопасности движения. Оптимальный продольный уклон рекомендуется устанавливать на основании

технико-экономического расчета, определяющего наиболее целесообразные соотношения затрат на строительство автодорог и расходов на транспортирование горной массы. Следует отметить, что рекомендации НТП в настоящее время носят рекомендательный характер и не являются обязательными к применению. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом указывают, что продольные уклоны карьерных автодорог устанавливаются с учетом действующих норм и правил [4].

Таким образом, однозначных рекомендаций по предельным значениям карьерных автодорог в настоящее время нет. В связи с тем, что научно обоснованная методика технико-экономического обоснования уклонов карьерных автодорог в настоящее время отсутствует, проектным организациям предоставляется возможность устанавливать уклоны на основе технико-экономических расчетов при условии обеспечения безопасности движения автосамосвалов.

Далее рассмотрено влияние эксплуатационно-технических и конструктивных характеристик автосамосвала на граничные условия его движения в карьере.

Тягово-динамические качества являются одним из основных параметров, определяющих эффективность работы большегрузных автосамосвалов в сложных горнотехнических условиях, характеризующихся широкой вариацией сопротивления движению. При этом можно отдельно рассматривать тяговые и динамические качества или их совокупность.

Для автосамосвалов с электромеханической трансмиссией динамический фактор в общем виде может быть записан формулами [55]:

$$D = \frac{F_K - W_B}{G_a g}, \quad (1.2)$$

а также

$$D = \omega_0 \pm i \pm j, \quad (1.3)$$

где G_a – полная масса автомобиля, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

F_K – касательная сила тяги, Н;

W_B – сила сопротивления воздушной среды, Н;

ω_0 – коэффициент сопротивления качению на участке трассы;

i – продольный уклон автодороги, ‰;

j – относительное ускорение (замедление) автомобиля, м/с².

Конструкция карьерных автосамосвалов обуславливает дисперсию значений максимального (D_{max}) и номинального ($D_{ном}$) (длительный режим) динамического фактора. Анализ показывает, что зарубежные автосамосвалы с электромеханической трансмиссией (ЭМТ) грузоподъемностью 70 – 180 т с колесной формулой 4 х 2 имеют $D_{max} = 0,15 – 0,24$ и $D_{ном} = 0,053 – 0,086$. Отечественные базовые модели БелАЗ-7519 и БелАЗ – 7521 обладают достаточно высоким динамическим фактором: $D_{max} = 0,174 – 0,190$, $D_{ном} = 0,065 – 0,080$ (рис. 1.2).

Тяговые качества автомобиля характеризуются величиной тягового усилия (F_K). Для автосамосвалов с ЭМТ мощность (кВт), передаваемая от первичного двигателя на ведущие колеса автосамосвала,

$$N_K = 2,72 \cdot 10^{-3} F_t \cdot v, \quad (1.4)$$

где v – скорость движения автосамосвала, км/ч.

Как свидетельствуют проведенные исследования, наибольшая сила тяги требуется при трогании автосамосвала с места, особенно в забоях рыхлых пород и при повышенных уклонах автодорог. Как свидетельствуют проведенные исследования, наибольшая сила тяги требуется при трогании автосамосвала с места, особенно в забоях рыхлых пород и при повышенных уклонах автодорог.

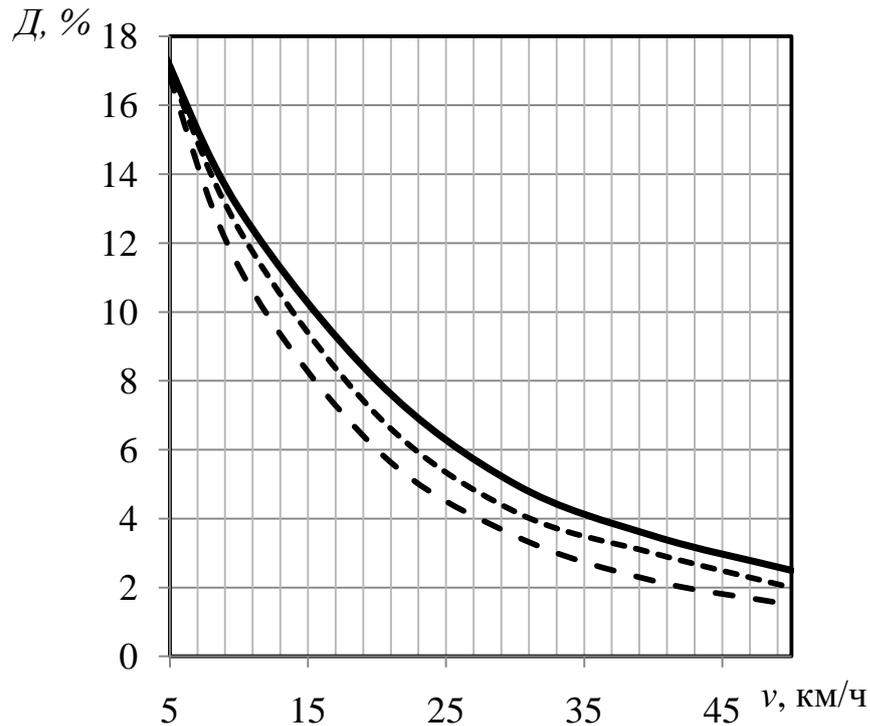


Рисунок 1.2 – Предельная динамическая характеристика грузовых автосамосвалов: — БелАЗ – 7549 ($D_{ном1} = 6,9\%$); ---- БелАЗ – 7519 ($D_{ном2} = 8\%$); - - - - БелАЗ – 7521 ($D_{ном1} = 6,5\%$) [55]

В забоях на временных автодорогах со скальным основанием грузовые автосамосвалы БелАЗ – 7519 – 73 – 95 кН, БелАЗ – 7521 – 131 – 154 кН. На участках автодорог с уклоном 100‰ при скорости движения 11 – 12 км/ч сила тяги возрастает, соответственно, для БелАЗ-7519 – 230 – 250 кН, БелАЗ – 7521 – 310 – 335 кН, при этом мощность дизеля используется практически полностью [61].

Максимальный уклон по тяговым характеристикам автосамосвалов определяется удельной мощностью $N_{уд}$, коэффициентом полезного действия трансмиссии (η_a), необходимой скоростью движения (v , км/ч) и коэффициентом сопротивления качению (ω_0) (рис. 1.3) [55]. Большинство конструкторских решений предусматривает обеспечение скорости на уклонах в пределах 10 – 15 км/ч. Меньшие скорости приводят к резкому снижению производительности и не обеспечивают устойчивого движения автосамосвалов на уклонах.

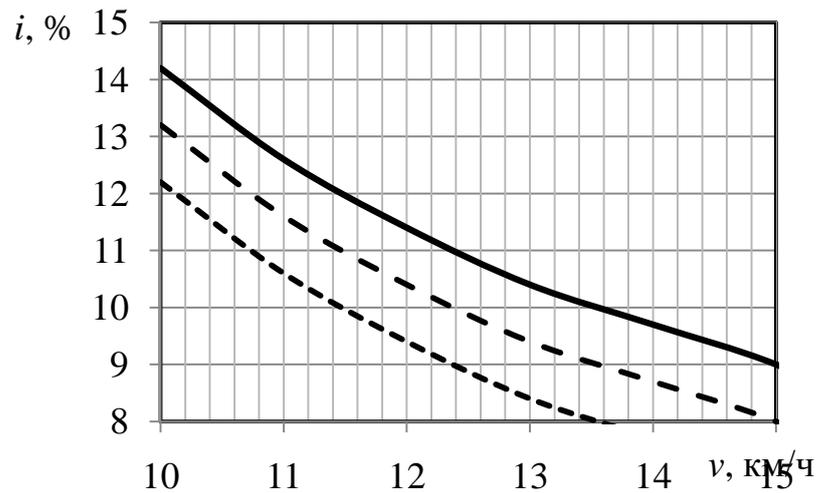


Рисунок 1.3 – Зависимости максимального уклона автодорог от скорости движения на уклоне и коэффициента сопротивления качению автосамосвала

БелАЗ – 751311 ($G_a = 239,8$ т, $N_D = 993$ кВт, $N_{yD} = 4,9$ кВт/т, $\eta_a = 0,84$);

— $\omega_0=0,01$; - - - - $\omega_0=0,02$; - - - - $\omega_0=0,03$

Средняя удельная мощность современных автосамосвалов грузоподъемностью до 100 т составляет 5,0 – 5,5 кВт/т (максимальная 6,3 кВт/т), свыше 100 т – 4,4 – 4,8 кВт/т (единичные образцы выпускаются с удельной мощностью 5,7 кВт/т. К рекомендациям ряда авторов о необходимости увеличения удельной мощности автосамосвалов, работающих в глубоких карьерах, до 7-8 кВт/т надо относиться с осторожностью [68]. Увеличение мощности двигателей приводит к увеличению коэффициента тары автосамосвалов и к снижению энергетической эффективности. Особенно это актуально для нагорных карьеров, где значительные объемы перевозок осуществляются при работе автосамосвалов на спуск горной массы, характеризующейся неполным использованием мощности двигателей.

Тягово-динамические качества современных автосамосвалов позволяют их эксплуатировать на уклонах до 100 – 120‰ [3, 97 – 98]. По условиям безопасности при работе на спуск горной массы уклоны могут составлять 100 – 140‰ [3, 98]. Следует отметить, что установленные технические ограничения уклонов не являются постоянными величинами. Совершенствование конструк-

ций автосамосвалов, двигателей и систем торможения будет способствовать увеличению предельных уклонов.

Эффективность открытой разработки месторождений при использовании автомобильного транспорта определяется параметрами систем разработки, и зависит от многих эксплуатационных факторов, которые поддаются оценке и анализу. К ним относят расчетные скорости движения, поперечный профиль проезжей части дороги, ширина транспортной бермы, план и продольный профиль автодороги. Эти параметры в свою очередь зависят от типоразмера КАС, глубины карьера, размеров и его формы в плане. При проектировании внутри-карьерных дорог предельно-допустимые параметры их отдельных элементов принимают, руководствуясь требованиями действующих СНиП.

Как уже отмечалось, важным направлением повышения эффективности автотранспорта глубоких карьеров является увеличение уклонов автодорог. Исследованиями и проектной практикой доказано, что влиять на показатели работы карьерного транспорта и карьера в целом можно, изменяя ширину транспортных берм и величину продольного уклона автомобильных дорог. Доказано, что при увеличении величины продольного уклона для обеспечения безопасности движения необходимо увеличивать ширину бермы.

При математической обработке результатов расчетов получено уравнение для определения ширины проезжей части дороги в зависимости от грузоподъемности КАС (G, t) и продольного уклона дороги ($i, \%$) [98].

$$B = 16,42 + 0,1768 \cdot G - 4,495 \cdot n + 0,0407 \cdot i, \quad (1.5)$$

где n – коэффициент, зависящий от направления движения груженого КАС ($n=1$ – на спуск; $n=2$ – на подъем).

При математической обработке результатов расчета по разработанной программе [89] получено уравнение для расчета ширины транспортной бермы:

$$Bn = 28,84 + 0,208613 \cdot G - 6,745 \cdot n + 0,04837 \cdot i. \quad (1.6)$$

Отсюда следует, что с увеличением продольного уклона безопасность эксплуатации автотранспорта снижается, что подтверждается в работе [98]. Это обстоятельство и предопределяет осторожное отношение к величине продольного уклона в нормативных документах.

В табл.1.3 приведены технические ограничения уклонов для КАС БелАЗ с колесной формулой 4х2 [98].

Таблица 1.3 – Технические ограничения уклонов автодорог при работе на различных схемах глубоких карьеров

Ограничения	Максимальный уклон на автодорогах со щебеночным покрытием ($\omega_o = 0,002 \div 0,025$), ‰	
	при работе на подъем горной массы	при работе на спуск горной массы
1	20	30
Качества и условия безопасности	100 – 120	100 – 140
Устойчивость КАС	236 – 383	224 – 368
Нагрузки на автошины	160 – 200	90 – 170
Нагрев тягового электрооборудования (КАС с ЭМТ)	Ограничивается высота подъема горной массы и время движения по уклону	–

Оптимальные значения уклонов по критерию энергозатрат для автосамосвалов БелАЗ – 7519 при работе на подъем горной массы в зависимости от дорожного щебеночного покрытия приведены в табл. 1.4 [89].

Таблица 1.4 – Оптимальные значения уклонов автодорог ($i_{\text{опт}}$) по энергетическому критерию для КАС БелАЗ – 7519

Тип щебеночного покрытия	$i_{\text{опт}}$
Асфальтобетонное ($\omega_o = 0,010 \div 0,015$)	80 – 100
Щебеночное ($\omega_o = 0,020 \div 0,025$)	90 – 110
Автодороги без покрытия на скальном основании ($\omega_o = 0,030 \div 0,040$)	100 – 120

Оптимальный продольный уклон по физическим критериям следует рассматривать как частный оптимум и нижний предел уклона, который рекомендуется принимать при проектировании транспортных систем. Окончательное решение по руководящим уклонам следует принимать на основе экономических критериев, учитывающих влияние уклона на технологические параметры горных работ (табл. 1.5) [89].

Таблица 1.5 – Оптимальные значения уклонов автодорог по физическим критериям

Тип трансмиссии КАС	Оптимальный уклон (‰) по критерию		
	удельных энерго- затрат	времени движе- ния	удельного дей- ствия
Работа на подъем горной массы			
Электромеханическая	80 – 120	100 – 140	80 – 120
Гидромеханическая	100 – 140	120 – 140	100 – 130
Работа на спуск горной массы			
Электромеханическая	Определяется техническими ограничениями	100 - 140	Определяется техническими ограничениями
Гидромеханическая	То же	120 – 140	То же

Перегрузочные способности тяговых электродвигателей позволяют использовать КАС с ЭМТ на повышенных уклонах при ограниченной высоте подъема горной массы. Так, во избежание перегрева тягового электрооборудования на уклоне 80‰, высота подъема горной массы КАС БелАЗ – 75131 не должна превышать 220 – 230 м, а на уклоне 100 ‰ – 120 – 130 м, на уклоне 120‰ – 70 – 80 м. С внедрением нового поколения тяговых электродвигателей и генераторов на БелАЗ – 7512, БелАЗ – 7513 и БелАЗ – 7514 указанные пределы удалось увеличить на 70 – 80 %. Вместе с тем, для уклонов 100 – 120‰ вопрос остается актуальным.

Следующим граничным условием возможности движения автосамосвалов по внутрикарьерным дорогам является *ширина земляного полотна*.

Ширина земляного полотна складывается из ширины проезжей части и двух обочин. Проезжая часть воспринимает основную нагрузку от подвижного состава и на главных дорогах покрывается дорожной одеждой (дорожным покрытием). Ширина проезжей части зависит от габаритов подвижного состава, скорости движения и числа полос движения. При двухполосном движении ширина проезжей части B постоянных автодорог определяется как [100]:

$$B = 2 \cdot a \cdot k_v + \Delta B_z, \quad (1.7)$$

где a – ширина автомобиля;

k_v – коэффициент, учитывающий суммарную скорость встречных автомашин в интервале скоростей 20 – 30 км/ч и равный 1,6 – 1,9;

ΔB_z – коэффициент, учитывающий габариты автомобиля (для самосвалов грузоподъемностью 27; 40 и 75 т, ΔB_z соответственно равен 1,0; 1,3 и 2,3 м, а для полуприцепов 65 и 120 т – 2,2 и 3,8 м).

Известно, что ширина временных автодорог в забое и на отвале определяется габаритами автомобилей. Для самосвалов грузоподъемностью 27 – 75 т она составляет от 10,5 до 13,5 м, для полуприцепов 65 – 120 т от 10,5 до 15,5 м.

Высота подъема горной массы карьерным автосамосвалом, как граничный критерий его движения, зависит от тех же параметров, что и уклон автодорог.

Следует отметить, что установленные технические ограничения уклонов не являются постоянными величинами. Совершенствование конструкций КАС и автошин, систем электродинамического торможения будет способствовать увеличению предельных уклонов. Так, внедрение КАС усовершенствованных конструкций позволяет увеличить предельный уклон при работе на подъем горной массы до 120 ‰.

Таким образом, для изменения таких параметров систем разработки как размеры автодорог и их длина, размеры рабочих площадок, а, следовательно, и угла откоса бортов карьера, необходима разработка и внедрение такой кон-

струкции автосамосвала, которая при высоких тягово-динамических характеристиках будет иметь минимальные габаритные размеры и радиус поворота.

1.4 Постановка цели, задачи исследований

Анализ и обобщение имеющихся в научно-технической литературе сведений о предмете исследования позволил сделать вывод, что до настоящего времени не в полной мере обоснована взаимосвязь между параметрами систем разработки глубоких карьеров и применяемого современного автомобильного транспорта усовершенствованных конструкций.

Автомобильный транспорт, который получил наибольшее распространение, консервирует борта карьеров и существенно ограничивает их развитие за счет трасс большой протяженности, ширины проезжей части двухполосных дорог и маневровых площадок на перегрузочных пунктах.

Повышение эффективности добычи руд без увеличения вскрыши возможно за счет уменьшения размеров транспортных коммуникаций и увеличения углов наклона бортов карьера. Поскольку перечисленные величины нормируются с учетом эксплуатационно-технических характеристик применяемого автомобильного транспорта, то решение проблемы возможно путем совершенствования автотранспорта.

В настоящее время совершенствование карьерного автотранспорта проводится в направлении повышения его производительности, грузоподъемности, безопасности. Однако при этом не рассматривается приспособляемость оборудования под стесненные условия отработки запасов на глубоких горизонтах.

В связи с этим возникла необходимость решения актуальной научно-технической задачи по оценке влияния эксплуатационно-технических характеристик применяемого автомобильного транспорта на параметры систем разработки для их взаимной адаптации путем совершенствования автотранспорта для повышения эффективности отработки глубоких горизонтов карьера.

В соответствии с вышеизложенным сформулированы цель, идея и задачи исследования.

Целью работы является установление расчетно-аналитической формы взаимосвязи параметров систем разработки карьеров и эксплуатационно-технических параметров карьерных автосамосвалов усовершенствованных конструкций для повышения эффективности отработки глубоких горизонтов карьера.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие научные задачи:

1) анализ известных исследований по обоснованию параметров систем разработки глубоких горизонтов карьера при транспортировании горной массы автомобильным транспортом;

2) интегральная оценка влияния эксплуатационно-технических характеристик применяемого автомобильного транспорта на параметры систем разработки глубоких карьеров;

3) разработка способа изменения положения центра масс и межосевого расстояния и моделирование движение карьерного автосамосвала нового технического решения для определения технико-эксплуатационных параметров;

4) разработка методики определения рациональных параметров систем разработки глубоких горизонтов железорудных карьеров с учетом установленной взаимосвязи с технико-эксплуатационными характеристиками карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции;

5) практическая реализация методики определения рациональных параметров систем разработки глубоких горизонтов железорудных карьеров с учетом установленной взаимосвязи с технико-эксплуатационными характеристиками карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции в конкретных горно-технических условиях эксплуатации.

РАЗДЕЛ 2
**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-
ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИМЕНЯЕМОГО
АВТОТРАНСПОРТА НА ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ
ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ**

2.1 Определение основных направлений повышения эффективности системы разработки при отработке глубоких горизонтов карьера

Эффективность работы карьера при принятой системе разработки в той или иной мере зависит от коэффициента вскрыши и площади готовых к выемке запасов, что позволяет принять их в качестве основных критериев эффективности работы карьера.

Далее детально рассмотрены параметры системы разработки и их взаимосвязь между собой и критериями эффективности.

Как известно, основными параметрами систем разработки карьеров включают:

- угол откоса рабочих уступов;
- ширину экскаваторной заходки;
- ширину рабочей площадки;
- длину активного фронта работы экскаватора;
- скорость подвигания рабочих уступов;
- угол наклона рабочего и нерабочего бортов карьера;
- скорость годового понижения дна карьера (скорость углубки).

Известно, что параметры систем разработки зависят от горно-геологических условий, применяемого вскрышного и добычного оборудования, транспортного комплекса и его параметров.

Повышение эффективности открытой разработки добычи руд на глубоких горизонтах может быть достигнуто при увеличении углов откоса бортов

карьером. Увеличение углов откоса бортов карьера позволяет снизить объем вскрыши в его контурах или увеличить объем запасов.

Рассмотрим в общем виде варианты увеличения угла откоса нерабочего борта карьера. На современном этапе разработки железорудных месторождений нерабочие борта карьеров имеют угол откоса с максимальным значением $36 - 38^\circ$ [12]. При отработке рудных залежей со скальной вскрышей принципиально возможно доведение угла откоса нерабочего борта до значений $50 - 60^\circ$. В этом случае могут быть принципиально два решения.

Первое. Увеличение углов откоса нерабочих бортов карьеров в пределах утвержденных запасов полезного ископаемого на данном карьере. Тогда увеличение углов откоса нерабочих бортов позволит уменьшить объем вскрышных пород в контурах карьера и тем самым снизить коэффициент вскрыши.

Второе. Увеличение углов откоса нерабочих бортов в пределах выделенного горного отвода позволяет увеличить граничную глубину карьера и тем самым увеличить количество вскрытых запасов в его контурах.

Повышение углов откоса нерабочих участков бортов карьеров требует решения двух главных проблем: 1) разработка эффективных схем постановки бортов карьеров в нерабочее положение с обеспечением безопасности и эффективности горных работ; 2) обеспечение устойчивости борта карьера при угле его откоса $50-60^\circ$. В данной работе вопросы обеспечения устойчивости бортов карьера при повышении углов их откоса не рассматриваются, так как являются отдельной важной научно-технической задачей. Далее подразумевается, что при повышении углов откоса бортов карьера применяются эффективные способы обеспечения их устойчивости.

Если увеличить угол откоса нерабочего борта в пределах утвержденных запасов, то существенно уменьшается объем вскрышных пород в карьере.

На рис. 2.1 показана схема отработка глубоким карьером рудного тела, представленного крутопадающей залежью.

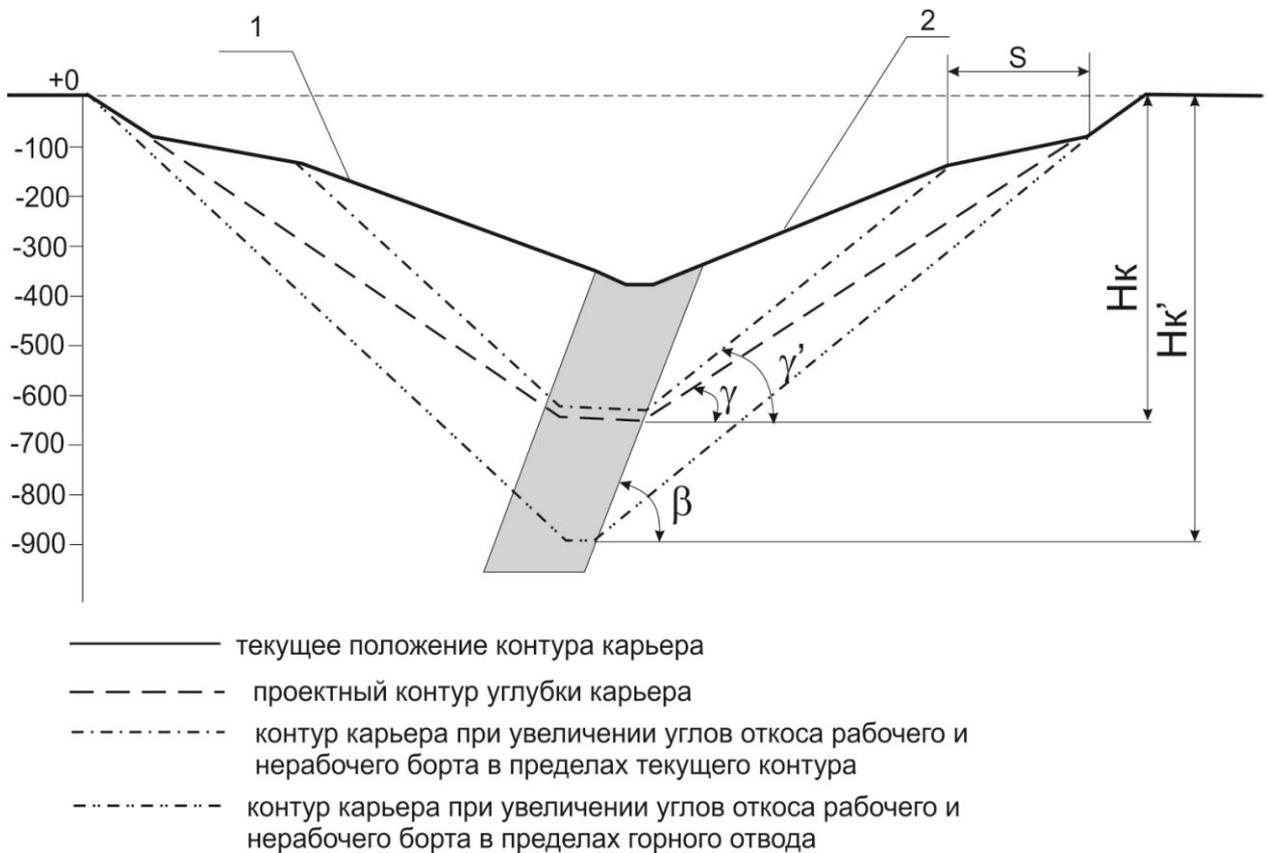


Рисунок 2.1 – Схема развития горных работ при отработке крутопадающей залежи с увеличением углов откосов бортов карьера: 1 – рабочий борт карьера, 2 – временно нерабочий борт карьера; γ , γ' – углы нерабочих бортов карьера согласно проекта и увеличенные; H_K , H'_K – глубина карьера, соответственно при запроектированных углах откоса нерабочего борта и увеличенных; β – угол падения залежи

Исходя из горно-геометрического анализа представленной схемы отработки крутопадающей залежи объем вскрыши, на величину которого уменьшится общий ее объем в карьере, можно определить по выражению:

$$V_v = (H'_K - H_K) \operatorname{ctg}(\beta - \gamma) \left[\sqrt{(H'_K \operatorname{ctg} \gamma')^2 + (H'_K)^2} + \sqrt{(H_K \operatorname{ct} \beta)^2 + H'_K} \right], \quad (2.1)$$

где H_K , H'_K – глубина карьера, соответственно при запроектированных углах откоса нерабочего борта и увеличенных, м;

γ, γ' – углы нерабочих бортов карьера согласно проекта и увеличенные, град;

β – угол падения залежи, град.

При этом в пределах горного отвода освобождается площадь S (см. рис. 2.1), которая может быть уже в настоящем использована для размещения на ней отвалов. Однако при таком варианте только уменьшается коэффициент вскрыши, но не освобождаются запасы руды.

Если увеличить угол откоса в пределах горного отвода (см. рис. 2.1), то кроме прироста подготовленных запасов получаем и дополнительный объем вскрышных пород. Их величину можно определить по выражениям:

– прирост подготовленных запасов:

$$V_{\text{п.з.}} = (H'_k - H_k) \cdot m \cdot L, \quad (2.2)$$

– объем вскрышных пород:

$$V_{\partial} = H_k^2 (\text{ctg} \gamma' - \text{ctg} \gamma) L, \quad (2.3)$$

где L – длина карьерного поля на данном горизонте, м;

m – мощность пласта, м;

l – длина прироста запасов по падению залежи, м.

Общий объем вскрыши при таком варианте составит:

$$V_{\text{в.д.}} = 0,5 \left(\frac{H'_k}{\sin \gamma'} + \frac{H_k}{\sin \gamma} \right) \cdot (H'_k - H_k) \text{tg}(\gamma' - \beta) \cdot L. \quad (2.4)$$

Величина прироста подготовленных запасов или снижение объемов вскрыши, в контурах карьера, зависит, главным образом, от горнотехнических условий месторождения и физико-механических свойств пород.

При варианте, когда угол откоса нерабочего борта нецелесообразно увеличивать или увеличить невозможно необходимо регулировать угол откоса рабочего борта карьера.

Таким образом, в условиях отработки глубоких горизонтов карьера, обрабатывающих крутопадающие залежи, повышение эффективности работ может быть достигнуто за счет увеличения углов откоса бортов карьера (как рабочего, так и нерабочего). Далее рассмотрено влияние горнотехнических и горно-геологических параметров на эффективность системы разработки и возможность ее повышения за счет их регулирования.

2.2 Обоснование критериев оценки влияния технических возможностей автотранспорта на параметры систем разработки

Углы откосов рабочих бортов карьера зависят от принятых параметров системы разработки, таких как: высота уступа, ширина рабочей площадки, угол откоса уступа и определяется по известному выражению [31]:

$$\alpha_p = \arctg \left(\frac{\sum h_Y}{\sum Ш_{р.п.} + \sum h_Y \cdot ctg \alpha_Y} \right), \quad (2.5)$$

где α_p – угол откоса рабочего борта, град;

h_Y – высота уступа, м;

$Ш_{р.п.}$ – ширина рабочей площадки уступа, м;

α_Y – угол откоса уступа, град.

Таким образом, исходя из выражения (2.5) угол откоса рабочего борта можно увеличить путем увеличения высоты и угла откоса уступа или уменьшения ширины рабочей площадки.

На графике (рис. 2.2) показано влияние изменения параметров системы разработки на угол откоса рабочего борта карьера. Оценка производилась по

каждому параметру отдельно, при этом остальные принимались постоянными величинами. Приведенные на графике 2.2 данные свидетельствуют, что:

– при постоянной глубине карьера, ширине и количестве размещенных на рабочем борту рабочих площадок и высоте уступа угол откоса борта зависит от угла откоса уступа и изменяется по параболической функции;

– при постоянной глубине карьера, угле откоса уступа, ширине и количестве рабочих площадок угол откоса рабочего борта карьера не зависит от высоты уступа, а может изменяться только при изменении остальных параметров;

– при постоянной глубине карьера, угле откоса уступа и его высоте, и количестве рабочих площадок угол откоса рабочего борта связан с шириной рабочей площадки обратной гиперболической зависимостью.

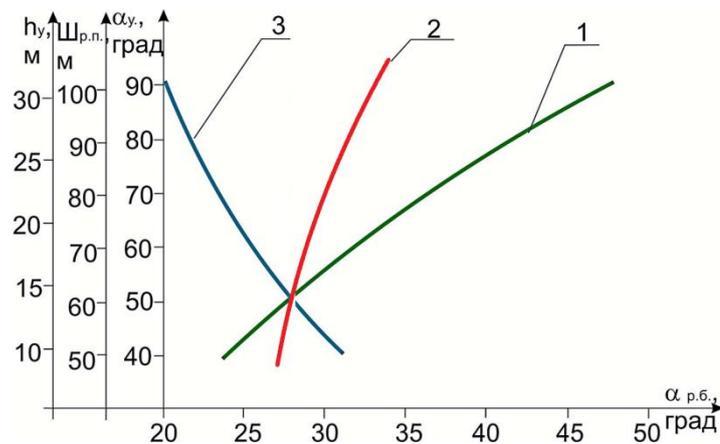


Рисунок 2.2 – Зависимость значения угла откоса рабочего борта от:

1 – угла откоса уступа; 2 – высоты уступа; 3 – ширины рабочей площадки

Поскольку высота и угол откоса уступа в большей мере определяются физико-механическими свойствами пород, а также параметрами применяемого выемочного (добычного) оборудования, то далее рассмотрено влияние параметров, определяющих ширину рабочей площадки, на угол откоса рабочего борта карьера.

Ширина рабочей площадки в соответствии с [31] определяется из условия размещения бурового, добычного и транспортного оборудования, а также

необходимых транспортных коммуникаций, в общем виде определяется по выражению:

$$Ш_{Р.П.} = B + C + Ш_{А.Д.} + S + Z, \quad (2.6)$$

где $Ш_{Р.П.}$ – ширина рабочей площадки;

B – ширина развала горной массы или ширина заходки экскаватора;

C – безопасное расстояние от нижней бровки развала до транспортной полосы;

$Ш_{А.Д.}$ – ширина автодороги;

S – расстояние от полосы безопасности до транспортной полосы;

Z – ширина полосы безопасности (призмы возможного обрушения), определяется по выражению [31]:

$$Z = h_{\gamma} (ctg \gamma + ctg \alpha_{\gamma}), \quad (2.7)$$

где h_{γ} – высота уступа;

γ – угол устойчивого откоса уступа ($\gamma=35 - 75^{\circ}$);

α_{γ} – угол откоса уступа.

Размеры берм безопасности S и C регламентируются «Правилами безопасности...» [4 – 5] и являются величинами постоянными. Ширина заходки экскаватора B зависит от технических параметров применяемого экскаватора, а поскольку в данной работе не предусматривается смена (выбор) выемочного оборудования, то далее принимается постоянной.

С учетом выражения (2.7) ширина рабочей площадки (2.6) запишется в виде:

$$Ш_{Р.П.} = B + C + Ш_{А.Д.} + S + h_{\gamma} (ctg \gamma + ctg \alpha_{\gamma}), \quad (2.8)$$

Ширина автодороги $Ш_{a.д.}$ зависит от технологических и технических характеристик применяемого автосамосвала. В соответствии с [101] ширина проезжей части автодороги определяется по формуле:

$$Ш_{a.д.} = 2(a + y) + x, \quad (2.9)$$

где a – ширина автосамосвала, м;

x – ширина между кузовами встречных автосамосвалов, м, определяется по выражению [101]:

$$x = 2y \quad (2.10)$$

где y – ширина обочин, м, определяется по выражению [101]:

$$y = 0,5 + 0,05v, \quad (2.11)$$

где v – нормативная скорость движения автомобиля, км/ч.

После подстановки выражений (2.10) и (2.11) в (2.9) и математических преобразований ширина рабочей площадки равна:

$$Ш_{a.д.} = 2(a + 0,1v + 1). \quad (2.12)$$

Таким образом, ширина рабочей площадки зависит от ширины экскаваторной заходки, параметров транспортных коммуникаций и элементов безопасности (см. выражение (2.8)). Как видно из выражения (2.8) она включает в себя ширину автодороги, которая прямо пропорционально зависит от ширины автосамосвала и скорости его движения.

Скорость движения автосамосвала по временным карьерным дорогам (грунтовые поверхности) определяется нормами технологического проектиро-

вания [1] на основании тяговых характеристик и исходя из безопасных условий эксплуатации (см. табл. 2.1). Скорость движения на спуск в данной работе не рассматривается.

На основании данных табл. 2.1 построены графики зависимости скорости движения порожнего автосамосвала на подъем от приведенного уклона автодороги (см. рис.2.3), анализ которых свидетельствует о том, что скорость движения тем меньше, чем больший уклон дороги, т.е. зависимость обратная, график функции имеет вид одной из ветвей параболы. При этом скорость движения зависит от типа автосамосвала и его грузоподъемности.

Таблица 2.1 – Скорости движения автосамосвалов на подъем по дорогам с грунтовым покрытием, км/ч [1]

Приведенный уклон	Типы автосамосвалов (грузоподъемность)								
	Механическая трансмиссия		Гидромеханическая трансмиссия			Электромеханическая трансмиссия			
	МАЗ – 5516 (20 т)	КрАЗ – 7133С4 – 021 (26 т)	БелАЗ – 75404 (30 т)	БелАЗ – 7547D (45 т)	БелАЗ – 7555 В (55 т)	БелАЗ – 75145 (120 т)	БелАЗ – 75131 (136 т)	БелАЗ – 75216 (190 т)	БелАЗ – 75306 (220 т)
+20‰	38/63	33/90	24/50	23/50	26/44	16/48	22/48	20/32	19/40
+40‰	27/49	24/73	18/42	17/39	20/40	12/30	16/35	16/29	15/30
+60‰	21/42	18/57	14/33	13/30	15/33	9/24	12/29	12/25	13/26
+80‰	18/37	16/48	12/29	11/27	12/28	8/20	10/24	10/22	10/23
+100‰	15/33	13/41	8/25	9/23	10/24	7/17	9/20	9/19	8/20
+120‰	13/31	12/36	8/23	8/20	9/20	6/15	8/18	8/17	6/18

Примечание: в числителе приведена скорость движения с грузом, в знаменателе – без груза.

Так как в пределах карьера автомобильная дорога проложена не по прямой линии, а с закруглениями, то на криволинейных участках ширина автодороги увеличивается на возможный по техническим характеристикам двойной радиус поворота автосамосвала.

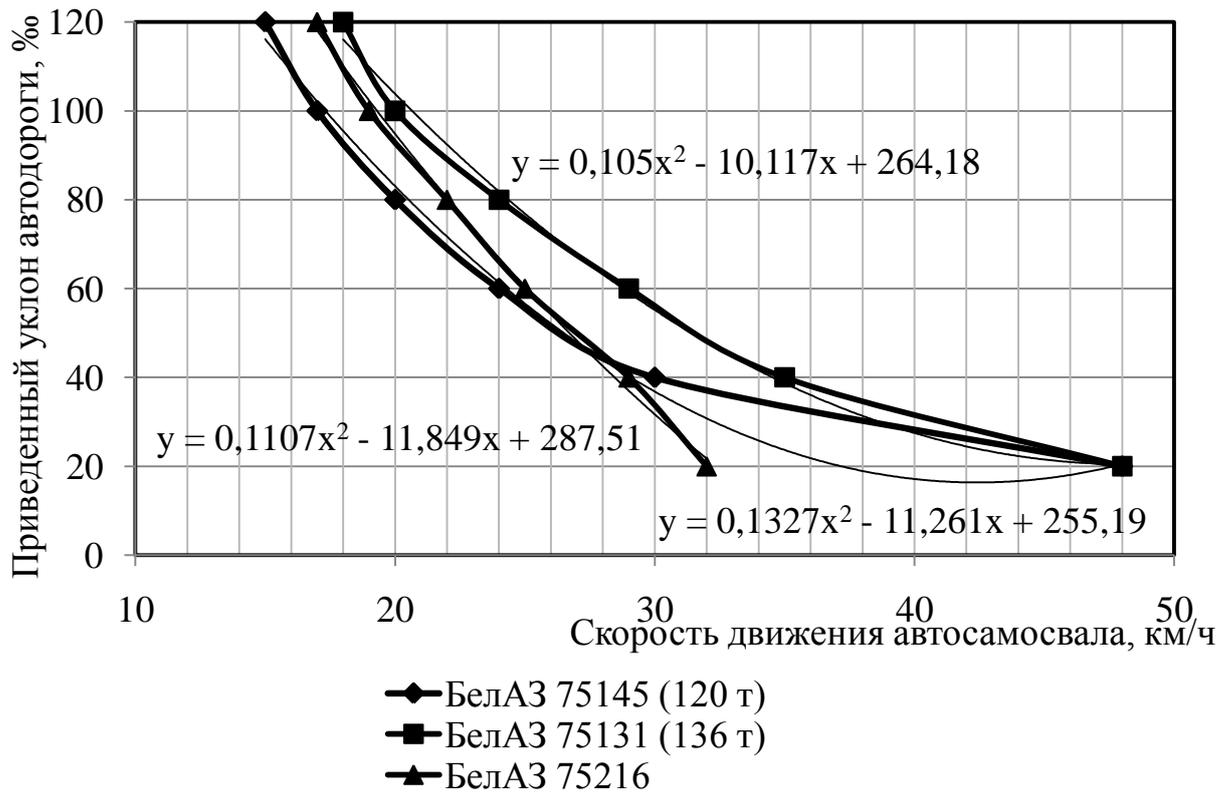


Рисунок 2.3 – Зависимость скорости движения автосамосвалов от приведенного уклона дороги и грузоподъемности

Как уже было указано, на угол откоса рабочего борта оказывает влияние количество расположенных на нем рабочих площадок. При расположении на временно нерабочем борту транспортных коммуникаций (автодорог и перегрузочных пунктов) на его угол откоса также влияет количество петлевых съездов автодороги и ее ширина, что соответственно определяется дальностью транспортирования горной массы автосамосвалом, величиной продольного уклона и шириной автомобиля, так как

$$L = h_{TP}/i, \quad (2.13)$$

где i – приведенный уклон автодороги;

h_{TP} – высота подъема груза, для карьеров, применяемых только автотранспорт $h_{TP} = H$.

При планировании горных работ одним из основных вопросов является рациональное размещение перегрузочных пунктов и их минимальные размеры, с целью уменьшения консервации бортов карьеров и запасов полезного ископаемого.

На карьерах Кривбасса наиболее широкое распространение получили внутрикарьерные автомобильно-железнодорожные перегрузочные пункты с экскаваторной перегрузкой.

Технология горных работ предусматривает работу автомобильного транспорта (сборочный транспорт) во вскрышной рабочей зоне, (которая непрерывно расширяется и углубляется с увеличением глубины карьера) с доставкой горной массы до перегрузочного пункта, и работу железнодорожного транспорта, который осуществляет подъем горной массы на поверхность. При этом создаются экскаваторные перегрузочные пункты в карьере, которые состоят из двух рабочих площадок: нижней и верхней.

На нижней площадке перегрузочного пункта осуществляют перегрузку горной массы экскаваторами из склада в средства железнодорожного транспорта. Ее ширина зависит от параметров склада (ширины заходки экскаватора), железнодорожных путей и обслуживающих ее коммуникаций, подъездных обслуживающих транспортных дорог, а также наличием объектов безопасности (защитные валы, ограждения, бермы).

Ширина нижней площадки $Ш_{н.п.}$ определяется по формуле [102]:

$$Ш_{н.п.} = A + m_0 + m_1 + m_2 + n + Ш_{п.ч.} + O_6 + b_1 + i \quad (2.14)$$

где H – высота уступа, м;

A – ширина экскаваторной заходки, м;

m_0 – минимальное расстояние от железнодорожного пути до нижней бровки откоса приямка (при угле откоса 75° и глубине приямка 1,5 м), м;

m_1 – минимальное расстояние от железнодорожного пути до опоры контактной сети, м;

m_2 – минимальное расстояние от опоры контактной сети до опоры линии электропередач, м;

n – минимальное расстояние от опоры линии электропередач до хозяйственной автодороги, м;

$Ш_{п.ч.}$ – ширина проезжей части хозяйственной автодороги, м;

$O_б$ – обочина дороги, м;

b – ширина насыпного ограждения по основанию высотой 1,6 м;

b_1 – ширина насыпного ограждения по основанию высотой 1 м;

h – высота защитного обвалования, м;

i – ширина призмы обрушения уступов карьера; зависит от физико-механических свойств породы и определяется маркшейдерской службой карьера, не менее одного метра;

a – расстояние от нижней бровки вышележащего уступа до кромки проезжей части автодороги или до края маневровой площадки, не менее одного метра;

$h_{п.р.}$ – глубина приямка, не менее 1,5 м ;

L – длина разгрузочной площадки с поперечным уклоном не менее 3° , не менее 10 м.

На верхней площадке перегрузочного пункта осуществляют разгрузку автосамосвалов в склад. Перегрузочный пункт разделяется на три сектора: зона разгрузки автосамосвалов – «А», зона работы экскаватора – «Б» и нейтральная зона – «Н». В нейтральной зоне выполняют погрузочно-разгрузочные работы. Высота яруса перегрузочного пункта определяется в зависимости от физико-механических свойств пород, но не должна превышать высоту черпания экскаватора. Разгрузочная площадка устраивается на кровле уступа, которая выравнивается скальной массой вдоль всего фронта разгрузки

с поперечным наклоном не меньше чем 3° , направленным от бровки в глубину площадки на расстоянии 10м, и предупредительной стенкой (породным отвалом) высотой не меньше 0,5 диаметров колеса автосамосвала наибольшей грузоподъемности.

Расчет параметров верхней площадки осуществляется с учетом принятой схемы маневров автосамосвалов (наиболее часто встречающейся) (рис. 2.4).

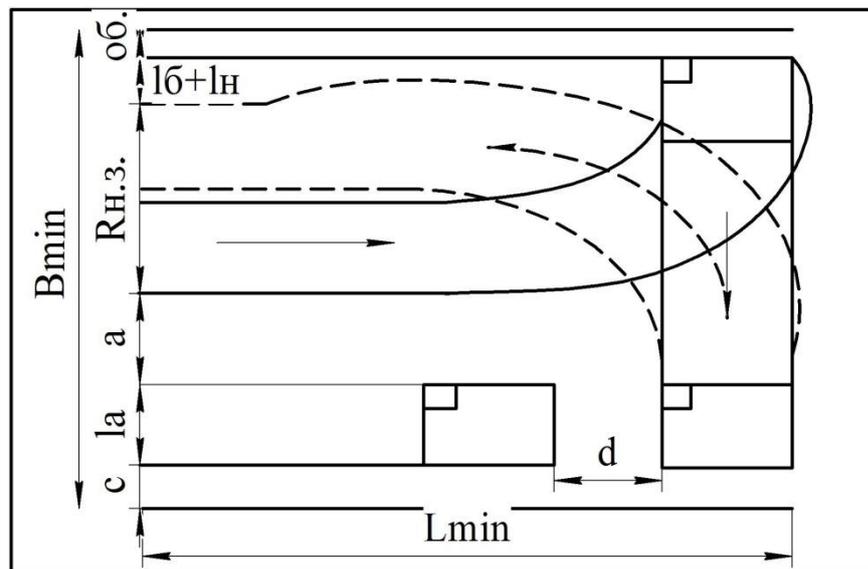


Рисунок 2.4 – Схема маневров и параметров маневровой площадки при правостороннем фронте разгрузки: L_{min} – длина маневровой площадки; B_{min} – минимальная ширина маневровой площадки при двустороннем (встречном) движении; d – расстояние между стоящими на разгрузке автосамосвалами; c – безопасное расстояние от автосамосвала до нижней бровки откоса вышележащего уступа, и до ограждения верхней бровки откоса нижележащего уступа; a – расстояние между стоящими на разгрузке и проезжающими вдоль фронта разгрузки автосамосвалами; l_a – длина автосамосвала; l_n , l_o – соответственно передний свес, база автосамосвала; $R_{H.3.}$ – радиус поворота наружного заднего колеса автосамосвала

Минимальная ширина маневровой площадки при двустороннем (встречном) движении определяется по формуле:

$$B_{min} = R_{H.3.} + l_a + L_{\sigma} + L_{\Pi} + a + a + Об \quad (2.15)$$

где B_{min} – минимальная ширина маневровой площадки при двустороннем (встречном) движении, м;

l_a – длина автосамосвала, м;

L_{Π}, L_{σ} – соответственно передний свес, база автосамосвала, м;

a – расстояние между стоящими на разгрузке и проезжающими вдоль фронта разгрузки автосамосвалами, м, $a \geq 0.5d$ (d – расстояние между стоящими на разгрузке автосамосвалами, при $R_{B.3.} \leq L_{\sigma} + l_a$, $d = R_{B.3.}$, м);

c – безопасное расстояние от автосамосвала до нижней бровки откоса вышележащего уступа, и до ограждения верхней бровки откоса нижележащего уступа, не менее одного метра;

$Об$ – обочина автодороги, площадки для маневров, м;

$R_{H.3.}$ – радиус поворота наружного заднего колеса автосамосвала, м;

$$R_{H.3.} = \sqrt{R_p^2 - L_{\sigma}^2}, \quad (2.16)$$

где R_p – рабочий радиус поворота переднего наружного колеса автосамосвала, м, $R_p = 1,3 \cdot R_{min}$;

R_{min} – минимальный радиус поворота переднего наружного колеса автосамосвала, м;

Длина маневровой площадки:

$$L_{min} = b_a \cdot n + d \cdot (n-1), \quad (2.17)$$

где L_{min} – длина маневровой площадки, м;

b_a – ширина автосамосвала, м;

n – количество одновременно разгружающихся автосамосвалов.

Расстояние между стоящими на разгрузке автосамосвалами определяется по формуле:

$$d = R_{B.3} - \sqrt{R_{B.3}^2 - (L_{\sigma} + l_a)^2}, \quad (2.18)$$

где $R_{B.3}$ – радиус поворота внутреннего заднего колеса автосамосвала, м:

$$R_{B.3} = R_{H.3} - b_a. \quad (2.19)$$

Анализ параметров автомобильно-железнодорожного перегрузочного пункта показал зависимость размеров верхней площадки от схемы маневров и параметров маневровой площадки автосамосвала.

На основании проведенного анализа параметров, определяющих величину угла откоса рабочего борта, составлен перечень критериев для выполнения оценки влияния эксплуатационно-технических характеристик автосамосвала на параметры системы разработки в качестве обеспечения работы КАС в стесненных условиях, которые включают:

- ширину рабочей площадки $Ш_{P.П.}$;
- ширину перегрузочного пункта $Ш_{П.П.}$;
- приведенный продольный уклон автодороги i ;
- угол откоса уступа α_{γ} ;
- длину автодорог L ;
- ширину автосамосвала a ;
- скорость движения автосамосвала v ;
- грузоподъемность T и тяговые возможности автосамосвала S ;
- радиус поворота автосамосвала R ;
- глубину карьера H ;
- высоту подъема груза h_{TP} .

Выбор критериев осуществлен на основании зависимостей (2.1) – (2.19).

В следующем параграфе приведена методика выполнения интегральной оценки влияния и последующем – выполнена сама оценка.

2.3 Обоснование методики интегральной оценки влияния эксплуатационно-технических характеристик автосамосвала на параметры систем разработки

Поскольку карьер является сложной геотехнической системой, параметры (в частности системы разработки) которой зависят от многих неоднородных факторов, как геометрических, горнотехнических, так и технологических и технических, к тому же между собой эти параметры также находятся в функциональной зависимости, то для выделения наиболее значимых из них необходим анализ, позволяющий объединить все параметры в единую систему. В настоящий момент наиболее разработанным методом такого анализа можно считать интегральный подход, основанный на «всесекторной, всеуровневой» модели Кена Уилбера [103].

Сущность данного метода заключается в присвоении (на основе анализа) каждому фактору (параметру) определенного балла B_i , означающем его значимость в данной системе. Для более точной оценки каждому параметру методом экспертной оценки присваивается весовой коэффициент k_i .

Оценкой P каждого параметра является произведение балла на весовой коэффициент [104].

Метод интегральных оценок широко применяется в различных областях деятельности, однако он, как и всякий другой, имеет некоторые погрешности.

Погрешности метода интегральной оценки вносятся при экспертной оценке параметров (балловыми шкалами оценки). Шкалы балловой оценки служат для перевода качественных характеристик в численные или для обобщения численных характеристик разнопараметренных величин. Наличие таких погрешностей в равной мере относится и к коэффициентам весомости.

Поскольку ранее (см. гл. 2.1) было установлено, что эффективность системы разработки на глубоких горизонтах достигается за счет увеличения угла откоса борта карьера, то далее для рассматриваемой в данной работе сложной геотехнической системы – карьер в области установления наиболее важных параметров, влияющих на значение угла откоса рабочего борта карьера, принимаем следующие оценки:

– количество баллов B соответствует частоте проявления данного параметра в формулах (2.2) – (2.19), влияющих на значение угла откоса рабочего борта карьера;

– весовой коэффициент зависит от того, стремится ли функция к минимуму ($k=1$) или к максимуму ($k=2$).

Для выявления влияния функции производится суммирование оценок всех ее аргументов [105].

2.4 Определение механизма влияния эксплуатационно-технических характеристик автомобильного транспорта на параметры систем разработки глубоких карьеров

Угол откоса бортов карьера определяет возможность обеспечения работ вскрытыми запасами. Как было установлено на основе анализа влияющих параметров площадь готовых к выемке запасов прямо пропорционально зависит от угла откоса борта карьера, который в свою очередь обосновывается целым рядом (см. гл. 2.2) факторов.

Представим площадь готовых к выемке запасов P в виде функции:

$$P = f(H, \alpha_{р.б.}, \alpha_{н.б.}), \quad (2.20)$$

где H – глубина карьера;

$\alpha_{р.б.}, \alpha_{н.б.}$ – углы откоса соответственно рабочего и нерабочего борта.

Из рис.2.1 и выражений (2.2) и (2.20) следует, что при существующих углах откоса рабочих и нерабочего бортов с увеличением глубины карьера в пределах всего горизонта объем вскрытых запасов будет сокращаться, а при увеличении углов откоса бортов карьера – увеличиваться.

С учетом неподвижности нерабочего борта ($\alpha_{н.б.} = const$), объем вскрытых запасов зависит от угла откоса рабочего борта и глубины ведения работ. Поскольку угол откоса рабочего борта зависит от ряда установленных ранее (см. гл.2.1) горнотехнических и горно-геологических факторов и технологических параметров, то объем вскрытых запасов на одном горизонте можно представить в виде сложной функции:

$$P = F(i, L, H, h_{TP}, \alpha_Y, Ш_{P.П.}, Ш_{П.П.}, a, Ш_{A.Д.}, v, T, S, R), \quad (2.21)$$

Исходя из выражений (2,5), (2.6), (2.8), (2.12) и (2.14) если представить зависимость в виде частной функции одного аргумента и фиксированных значениях остальных, то между, площадью вскрытых запасов и таких параметров как $Ш_{P.П.}$, $Ш_{П.П.}$, $Ш_{A.Д.}$, R и $\alpha_{P.Б.}$ наблюдается обратная гиперболическая связь – с увеличением параметров рабочих, перегрузочных площадок и ширины автодорог угол откоса уменьшается, соответственно меньше P . Связь между, площадью вскрытых запасов и α_Y , i , L , T , S , $\alpha_{P.Б.}$ прямая, параболическая – с увеличением этих параметров угол откоса и соответственно объем вскрытых запасов увеличиваются, следовательно, уменьшается объем вскрышных работ при создании транспортных коммуникаций.

Выразим величину площади вскрытых запасов в виде общей функции $P = f(x)$ и представим ее виде графика (рис. 2.5).

На графике (рис. 2.5) максимально возможная величина площади вскрытия запасов обозначена $P_{дост.}$. Рациональная площадь вскрытия запасов располагается в пределах области регулируемых значений Q , обозначенной на графике штриховкой, которая выражается в виде:

$$Q = \int_0^{P_{доcm.}} [p(P_{доcm.}) - p(f)] df \quad (2.22)$$

То есть, значение P стремится к максимуму, при достижении минимума значения функции f .

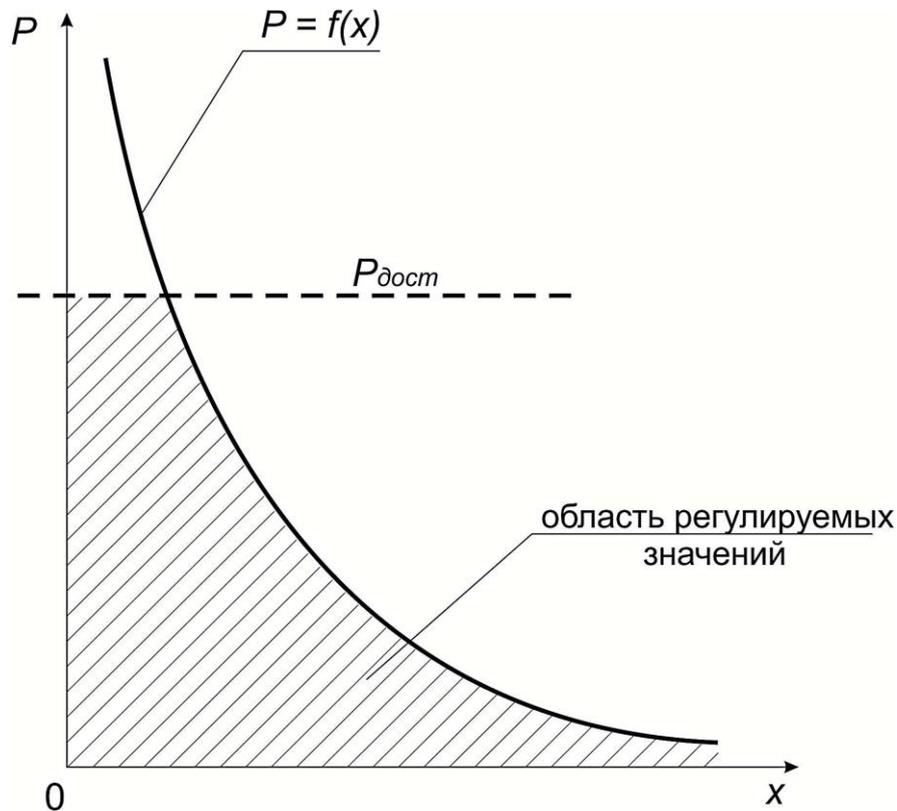


Рисунок 2.5 – График функции $P = f(x)$ в общем виде

С учетом выявленных закономерностей (см. гл.2.2) между функцией и аргументами, все входящие в выражение (2.21) аргументы в виде пределов для достижения максимума функции. То есть $P \rightarrow max$, при

- ширине рабочей площадки $Ш_{P.П.} \rightarrow min$;
- ширине перегрузочного пункта $Ш_{П.П.} \rightarrow min$;
- ширине автодороги $Ш_{A.Д.} \rightarrow min$;
- приведенном продольном уклоне автодороги $i \rightarrow max$;
- угле откоса уступа $\alpha_{\gamma} \rightarrow max$;
- длине автодорог $L \rightarrow min$;
- ширине автосамосвала $a \rightarrow min$;

- скорости движения автосамосвала $v \rightarrow \min$;
- грузоподъемности автосамосвалов $T \rightarrow \min$
- тяговых возможностях автосамосвалов $S \rightarrow \max$;
- радиусе поворота автосамосвала $R \rightarrow \min$;
- глубине карьера $H \rightarrow \min$;
- высоте подъема груза $h_{TP} \rightarrow \min$.

Каждый из вышеприведенных аргументов запишем в виде функции в общем виде с учетом выражений (2.6) – (2.14).

$$\left. \begin{aligned}
 &Ш_{P.П.} = f(a, R, T, \alpha_H) \rightarrow \min \\
 &Ш_{П.П.} = f(a, R, T) \rightarrow \min \\
 &Ш_{A.Д.} = f(a, v, R, T) \rightarrow \min \\
 &i = f(T, v, S) \rightarrow \max \\
 &L = f(i, h_{TP}) = f(T, v, S, h_{TP}) \rightarrow \min \\
 &R = f(a, T, S) \rightarrow \min
 \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

На основании системы (2.23) и с учетом положений об интегральной оценке влияния составляем таблицу 2.2, с присвоением каждому параметру балла значимости в системе и весовой функции.

Таблица 2.2 – Определение интегральных оценок

Единицы оценки	Оцениваемые аргументы						
	a	T	R	α_y	v	S	h_{mp}
Балл B_i	4	6	3	1	3	3	1
Весовая функция k_i	1	2	1	2	1	2	1
$\Pi = B_i \cdot k_i$	4	12	3	2	3	6	1

На основе суммарных оценок аргументов определяем оценки основных функций (2.23):

$$\left. \begin{aligned} \Pi_{Ш_{р.п.}} &= \Pi_a + \Pi_T + \Pi_R + \Pi_{\alpha_Y} = 21 \\ \Pi_{Ш_{п.п.}} &= \Pi_a + \Pi_T + \Pi_R = 19 \\ \Pi_{Ш_{а.д.}} &= \Pi_a + \Pi_T + \Pi_R + \Pi_v = 22 \\ \Pi_L &= \Pi_T + \Pi_v + \Pi_S + \Pi_{h_{тp}} = 22 \end{aligned} \right\} \quad (2.24)$$

и входящих в них аргументов R и i :

$$\left. \begin{aligned} \Pi_R &= \Pi_a + \Pi_T + \Pi_S = 19 \\ \Pi_i &= \Pi_T + \Pi_v + \Pi_S = 21 \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

Как показал проведенный интегральный анализ наибольшее значение (влияние) на угол откоса борта карьера и соответственно объем вскрытых запасов имеют ширина автодорог и длина транспортирования, в оценках которых наибольшее значение принадлежит продольному уклону и радиусу поворота автосамосвала.

На основании этого сформулировано первое научное положение: уменьшение объемов вскрышных работ для создания транспортных коммуникаций на глубоких горизонтах железорудных карьеров обеспечивается увеличением преодолеваемого продольного уклона и уменьшением радиуса поворота автосамосвала и достигается за счет регулирования эксплуатационно-технических характеристик карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции.

Таким образом, для регулирования параметров системы разработки необходимо сократить длину автодорог путем увеличения продольного уклона и уменьшить ширину автодорог за счет уменьшения радиуса поворота автосамосвала.

Поскольку и преодолеваемый продольный уклон и радиус поворота зависят от технических и эксплуатационных характеристик автосамосвала, то далее рассмотрен вопрос их усовершенствования.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Установлено, что взаимосвязь параметров систем разработки с эксплуатационно-техническими характеристиками автосамосвалов представляется в виде сложной функции, частные функции которой, по отдельным аргументам, представляются как гиперболическими, так и параболическими зависимостями, что позволило составить объективную оценку наибольших зависимостей аргументов и выбрать приоритетное направление их взаимной адаптации.

2. На основе проведенного анализа параметров, определяющих величину углов откоса бортов карьера, обоснован механизм влияния эксплуатационно-технических параметров автосамосвалов (грузоподъемность, радиус поворота, габариты, тяговые характеристики, скорость движения) на параметры системы разработки и грузотранспортной системы (ширину рабочей площадки и перегрузочного пункта; продольный уклон внутрикарьерных автодорог и их длину; угол откоса уступа; глубину карьера и высоту подъема горной массы), установлены относительные степени влияния каждого из перечисленных параметров, что позволило установить наиболее значимые из них.

3. На основе интегрального метода оценки влияния эксплуатационно-технических характеристик автомобильного транспорта на параметры систем разработки глубоких карьеров установлено, что сокращение объемов вскрышных работ и увеличение объемов вскрытых запасов на глубоких горизонтах достигается при увеличении продольного уклона автодорог и уменьшении радиуса поворота автосамосвала, что возможно только путем частичного или полного технического усовершенствования карьерных автосамосвалов.

РАЗДЕЛ 3

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

3.1 Выбор направления изменения эксплуатационно-технических характеристик карьерных автосамосвалов

Как было отмечено в предыдущих разделах данной работы, транспортные коммуникации автомобильного транспорта существенно ограничивают разнос бортов за счет трасс большой протяженности, ширины проезжей части двухполосных дорог и маневровых площадок на перегрузочных пунктах.

Как было доказано ранее (см. гл. 2 данной работы), для условий отработки глубоких горизонтов карьера повышение объемов добычи руд без увеличения вскрыши возможно за счет увеличения углов наклона бортов карьера, что возможно при уменьшении ширины и сокращения длины автомобильных дорог. Поскольку перечисленные величины нормируются с учетом техники безопасности выполнения работ и, в первую очередь, техническими возможностями применяемого автомобильного транспорта, то решение проблемы возможно путем усовершенствования конструкций автосамосвалов.

Как показал интегральный анализ (см. гл. 2.4), ширина внутрикарьерных автодорог и длина транспортирования в соответствии с (2.24) наиболее зависят от радиуса поворота автосамосвала и уклона дороги, которые, в свою очередь, определяются шириной, грузоподъемностью и тяговыми возможностями применяемого автотранспорта.

Из выражений (2.23) и (2.25) очевидно, что минимальный радиус поворота достигается при уменьшении ширины, грузоподъемности и тяговых возможностей автосамосвала, а увеличение угла преодолеваемого уклона автодорог наоборот возможно при увеличении указанных параметров.

Для достижения одновременно наименьшего радиуса поворота автосамосвала и максимально возможного преодолеваемого уклона автодороги необходимо разработать новое конструктивное решение по усовершенствованию используемых КАС.

В результате проведенных исследований конструкции карьерного автосамосвала типа БелАЗ установлено, что единственным технологическим параметром, позволяющим уменьшить радиус поворота и увеличить преодолеваемый угол уклона автодороги, является колесная база. Колесная база представляет собой продольное расстояние между осями передних и задних колес автомобиля и далее называется межосевым расстоянием.

Уменьшение колесной базы способствует уменьшению радиуса поворота, а ее увеличение – увеличению тяговых возможностей и, соответственно, увеличению преодолеваемого уклона автодороги.

Поскольку в заводском исполнении колесная база карьерного автосамосвала является величиной постоянной, то для решения поставленной задачи необходимо разработать такую конструкцию КАС, которая позволит при движении автомобиля увеличивать или уменьшать колесную базу при возникновении такой необходимости. Как показал проведенный анализ (см. гл. 1.3), в настоящее время подобная конструкция отсутствует. В связи с этим, одной из задач данного исследования является разработка конструкции механизма изменения межосевого расстояния и моделирование (математическое и компьютерное) его применения на автосамосвалах типа БелАЗ для повышения эффективности систем разработки глубоких горизонтов карьера.

Для реализации системы изменения межосевого расстояния необходимо выполнить обоснование конструкции механизма, моделирование его работы и оценить результат в рамках решения поставленной задачи, а именно – сокращение ширины автодорог и увеличение их уклона за счет использования усовершенствованной конструкции автосамосвала для транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьера.

3.2 Разработка способа изменения межосевого расстояния карьерных автосамосвалов

Обоснование начальных условий моделирования.

Целью моделирования является разработка конструкции, позволяющей изменять (уменьшать и увеличивать) межосевое расстояние для уменьшения параметров маневрирования автосамосвала и увеличения его тягово-динамических возможностей с сохранением остальных параметров на уровне заводских значений, что позволит сократить длину внутрикарьерных автомобильных дорог, уменьшить параметры рабочих и маневровых площадок для обеспечения увеличения углов наклона бортов карьера в его конечном контуре с минимальным разносом.

Карьерный автосамосвал представляется в виде многомассовой системы твердых тел. Наложенные на тела связи являются галоломными, то есть не имеют реакций. Автодорога представлена недеформируемым телом.

В указанную МСТТ входят: подрессоренная масса – рама и смонтированные на ней узлы, кузов; неподрессоренные массы – передний и задний мосты.

Подвеска КАС представлена упруго-диссипативной связью колеса и рамы. Контакт колеса и дороги также представлен упруго-диссипативной связью. Каждая из таких связей обладает жесткостью и степенью диссипации энергии представленной в виде коэффициента диссипации.

В рассматриваемых динамических режимах движение каждого тела сводится к вертикальным смещениям его центра тяжести (ЦТ) и изменению углов поворота вокруг главных осей инерции X , Y . То есть, предполагается, что угол поворота тел вокруг вертикальной оси Z и смещения ЦТ в горизонтальной плоскости являются величинами второго порядка малости по сравнению с поворотами вокруг осей X , Y и вертикальными перемещениями.

При переходе от охарактеризованной выше расчетной системы автосамосвала к соответствующей ей математической модели принимаются следующие уточнения и ограничения:

1. В соответствии с изложенными ограничениями на характер представляющей КАС системы МСТТ используются геометрически линейные дифференциальные уравнения малых колебаний МСТТ в том их частном случае, когда все материальные точки тела перемещаются вдоль одной (здесь вертикальной) оси Z .

2. Неровности автодороги задаются изолированной единичной неровностью по координатам пути. По значению этой функции и закону движения КАС (в горизонтальной плоскости) определяются перемещения масс автосамосвала.

При моделировании движения автосамосвала работа рассматриваемых узлов была принята в строгом соответствии с инструкцией по эксплуатации завода-изготовителя.

Анализ экспериментальных данных позволил обосновать и разработать конструкцию механизма, позволяющего изменять в необходимом положении центр масс автосамосвала и межосевое расстояние, что способствует рациональной эксплуатации автосамосвала.

Разработка конструкции навесного оборудования для изменения межосевого расстояния автосамосвала

Для рационального использования эксплуатационных параметров карьерного автосамосвала создан механизм, позволяющий изменять в необходимом положении центр масс КАС и межосевое расстояние – механизм изменения центра масс (МЦМ) (рис. 3.1) [106].

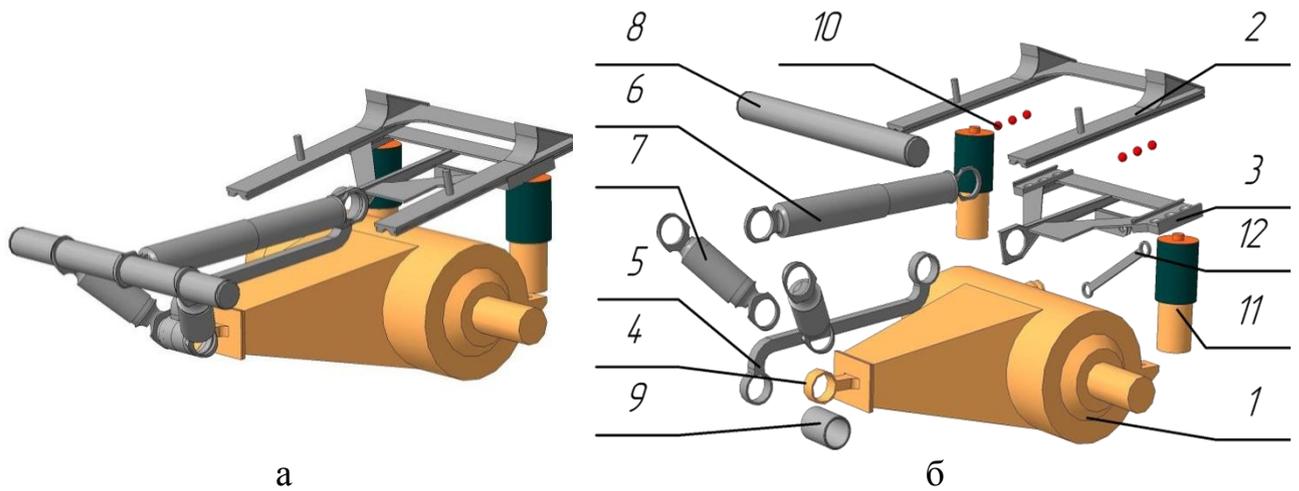


Рисунок 3.1 – Конструктивная схема навесного оборудования для задних мостов карьерного автосамосвала: а) в сборе; б) развернутая:

1 – задний ведущий мост со встроенными в ступицы тяговыми электродвигателями; 2 – направляющие салазки; 3 – ползун; 4 – проушина косынки ведущего моста; 5 – штанга; 6 – гидроцилиндр ползуна; 7 – гидроцилиндр косынки ведущего моста; 8 – шток; 9 – втулка; 10 – шарик; 11 – упругий, демпфирующий элемент; 12 – поперечная тяга

МЦМ включает в себя (рис.3.1): направляющие салазки, по которым перемещается ползун, с возможностью закрепления на нем упругих демпфирующих элементов, связанный штангой с гидроцилиндром продольного рычага и гидроцилиндром ползуна, которые ориентируют ползун с задним мостом в продольном направлении и фиксацией в заданном положении, в пазах которого установлены тела качения.

Принцип работы навесного оборудования (см. рис.3.1) следующий.

Во время рабочего процесса при движении груженого горной массой автосамосвалом или в порожнем состоянии, для увеличения устойчивости и понижения центра тяжести, с помощью гидроцилиндра 7 (см. рис. 3.1 б) ползуна 3 и гидроцилиндров 7, звена навесного устройства подвески происходит позиционирование заднего ведущего моста 1 и упругого демпфирующего элемента 11 с помощью продольных рычагов 4 и штанги 5. Тем самым рама карьерного автосамосвала нагружается более рационально,

улучшается кинематическая характеристика подвески колес, МЦМ выполняет роль стабилизатора поперечной устойчивости, что в комплексе позволяет более рационально выбрать скоростной режим перемещения автосамосвала.

Фактически происходит перемещение заднего моста 1 (см. рис. 3.1) при постоянном восприятии нагрузки телами качения 10, установленных в конических отверстиях ползуна 3 по пазам салазки 2 прямоугольного сечения, приводя к понижению центра тяжести автосамосвала и увеличению устойчивости. Данная конструкция может быть применена и к самосвалам других моделей.

На рис. 3.2 изображено размещение механизма на раме карьерного автосамосвала БелАЗ – 7519.

Универсальность МЦМ, простота сборки и обслуживания с учетом малой массы и хорошей компоновки, улучшение плавности хода – все это позволяет применять данную конструкцию к подвескам автомобилей–самосвалов большой и особо большой грузоподъемности, работающих при транспортировании пород в карьерах, где необходимо сохранить устойчивость и необходимую силу тяги на подъем, и увеличить маневренность при заезде КАС на площадку под погрузку и разгрузку горной массы, а также при движении в стесненных условиях по карьерным дорогам.



Рисунок 3.2 – Механизм изменения положения центра масс и межосевого расстояния автосамосвала с МЦМ

Таким образом, техническое решение может быть использовано в подвесках автомобилей-самосвалов большой и особо большой грузоподъемности, работающих преимущественно при транспортировании пород в карьерах, а также в условиях плохой проходимости, за счет возможности увеличения средне-технической скорости или продольного уклона автодороги в связи с увеличением устойчивости и более рациональной нагрузки рамы и сохранения необходимой силы тяги.

3.3 Моделирование движения автосамосвала с механизмом изменения центра масс и межосевого расстояния по внутрикарьерным дорогам

Пространственная математическая модель движения автосамосвала по дороге с продольным уклоном.

Проведем исследование динамики прямолинейного движения машины с учетом продольного уклона дороги для определения изменения силы тяги F_t от конструктивных параметров машины. Расчетная схема карьерного автосамосвала приведена на рис. 3.3.

Движение автомобиля рассматриваем в плоскости XOZ , проходящей через продольную ось автомобиля.

Для составления уравнения движения воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода:

Для составления уравнения движения воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{d\dot{q}_i} \right) - \frac{dT}{dq_i} + \frac{d\Pi}{dq_i} + \frac{dD}{d\dot{q}_i} = Q_i, \quad (3.1)$$

где при составлении выражений для кинетической T и потенциальной энергии Π , диссипативной функции D , были использованы значения масс и моментов

инерции $m_1, m_2, m_B, J_{YB}, J_{XB}, J_{Y1}, J_{Y2}$. В качестве обобщенных координат Q_i были выбраны $X, Z_1, Z_2, Z, \varphi_1, \varphi_2, \varphi, \psi$.

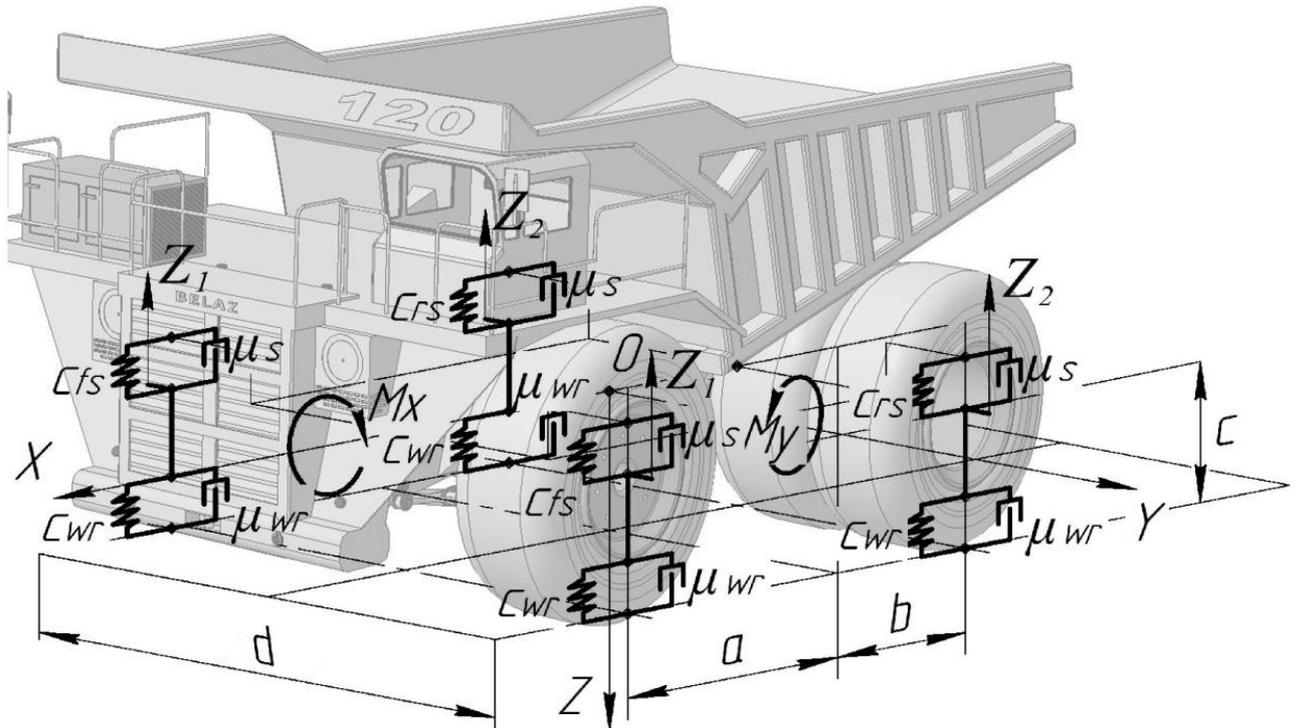


Рисунок 3.3 – Расчетная схема карьерного автосамосвала типа БелАЗ – 7512, 7519, 7513

Условные обозначения к расчетной схеме на рисунке 3.3: a, b, c – размеры, определяющие положение центра масс автомобиля относительно осей колес и полотна дороги, межосевое расстояние (база автосамосвала) – $L=(a+b)$, d – колея автосамосвала; c_{wr}, μ_{wr} – коэффициенты жесткости и демпфирования передних и задних колес; $c_s, c_{wr}, \mu_s, \mu_{wr}$ – коэффициенты жесткости и демпфирования соответственно подвесок и колес; Z – относительное перемещение поддресоренной массы кузова перпендикулярно курсу движения автомобиля; Z_1, Z_2 – перемещение осей соответственно передних и задних колес перпендикулярно курсу движения автомобиля; X – перемещение центра масс автомобиля по курсу его движения; φ – угол поворота кузова относительно оси, проходящей через центр масс кузова перпендикулярно плоскости XOZ ; φ_1, φ_2 – угол поворота колес относительно оси; ψ – угол

поворота кузова вокруг оси X ; α – угол наклона полотна дороги по направлению движения; $m_1, m_2, m_B, G_1, G_2, G$ – масса и вес соответственно передних, задних колес и кузова автосамосвала. Взаимодействие с дорожным покрытием выражается через нормальные реакции R_F, R_R , и силы сопротивления качению F_{k1} и F_{k2} .

Кинетическая энергия всей системы:

$$T = \frac{1}{2} \cdot (J_{XB} \cdot \dot{\psi}^2 + J_{YB} \cdot \dot{\phi}^2 + X \cdot \dot{X}^2 \left(\frac{2(J_1 + J_2)}{r^2} + 2m_1 + 2m_2 + m_B \right) + J_{Y1} \cdot \dot{\phi}_1^2 + J_{Y2} \cdot \dot{\phi}_2^2 + m_B \cdot \dot{Z}^2 + m_1 \cdot \dot{Z}_1^2 + m_2 \cdot \dot{Z}_2^2); \quad (3.2)$$

Потенциальная энергия всей системы:

$$П = \frac{1}{2} \cdot (c_s (\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2) + c_{wr} (\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2)); \quad (3.3)$$

Диссипативная функция:

$$D = \frac{1}{2} \cdot (\mu_s (\dot{\Delta}_1^2 + \dot{\Delta}_2^2 + \dot{\Delta}_3^2 + \dot{\Delta}_4^2) + \mu_{wr} (\dot{\delta}_1^2 + \dot{\delta}_2^2 + \dot{\delta}_3^2 + \dot{\delta}_4^2)); \quad (3.4)$$

где $\Delta_i, \dot{\Delta}_i$ – соответственно перемещение и скорость центра масс кузова автосамосвала, в процессе движения по заданному профилю пути;

$\delta_i, \dot{\delta}_i$ – соответственно перемещение и скорость центра масс колес передней и задней подвески, в процессе движения по заданному профилю пути.

Перемещение и скорость центра масс кузова автосамосвала, в процессе движения по заданному профилю пути:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= Z + \psi \cdot \frac{d}{2} + \varphi \cdot a - (Z_1 + \cos \frac{\varphi_1 \cdot d}{2}); \\ \Delta_2 &= Z - \psi \cdot \frac{d}{2} + \varphi \cdot a - (Z_1 - \cos \frac{\varphi_1 \cdot d}{2}); \\ \Delta_3 &= Z + \psi \cdot \frac{d}{2} - \varphi \cdot b - (Z_2 + \cos \frac{\varphi_2 \cdot d}{2}); \\ \Delta_4 &= Z - \psi \cdot \frac{d}{2} - \varphi \cdot b - (Z_2 - \cos \frac{\varphi_2 \cdot d}{2}); \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Перемещение центра масс колес передней и задней подвески, в процессе движения по заданному профилю пути:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= Z_1 - \varphi_1 - P(x); \\ \delta_2 &= Z_2 - \varphi_2 - P(x); \\ \delta_3 &= Z_1 + \varphi_1 - P(x); \\ \delta_4 &= Z_2 + \varphi_2 - P(x), \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Функция $P(x)$ – олиномиальная функция, описывающая профиль дороги с учетом неровностей в 0,05-0,2 м и продольным уклоном дороги в 70‰:

$$\begin{aligned} P(x) &= 2,81863 \cdot 10^{-17} x^5 - 1,4033 \cdot 10^{-12} x^4 + \\ &+ 5,6 \cdot 10^{-9} x^3 - 6,9359 \cdot 10^{-6} x^2 + 0,0719192 x \end{aligned} \quad (3.7)$$

После подстановки и решения в программном продукте "*Wolfram Mathematica*" выражений для кинетической и потенциальной энергии, диссипативной функции с учетом зависимостей (3.5) – (3.7), а также соответствующих преобразований приходим к системе восьми дифференциальных уравнений второго порядка. Решение уравнений описывают изменения обобщенных координат, которые позволяют оценить динамику автомобиля с учетом характера дороги [107].

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{2(J_1 + J_2)}{r^2} + 2m_1 + 2m_2 + m_B \right) \cdot \ddot{X} = 0; \\
& \frac{1}{2} c_s \left(2 \left(\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) + Z - Z_1 + a\varphi - \frac{L}{2} \psi \right) + 2 \left(\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_2\right) + Z - Z_2 - b\varphi - \frac{L}{2} \psi \right) + 2 \left(-\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) + Z - Z_1 + a\varphi + \frac{L}{2} \psi \right) + 2 \left(-\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_2\right) + Z - Z_2 - b\varphi + \frac{L}{2} \psi \right) \right) + \frac{1}{2} \mu_s \left(2 \left(-\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 + a\dot{\varphi} - \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) + 2 \left(-\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_2\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 - b\dot{\varphi} - \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) + 2 \left(\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 + a\dot{\varphi} + \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) + 2 \left(\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_2\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 - b\dot{\varphi} + \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) \right) \cdot m_B \ddot{Z} = 0 \\
& \frac{1}{2} \left(4c_{wr}(-P + Z_1 - \varphi_1) + c_s \left(-2 \left(\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) + Z - Z_1 + a\varphi - \frac{L}{2} \psi \right) - 2 \left(-\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) + Z - Z_1 + a\varphi + \frac{L}{2} \psi \right) \right) \right) + \frac{1}{2} \left(4\mu_{wr}(-\dot{P} + \dot{Z}_1 - \dot{\varphi}_1) + \mu_s \left(-2 \left(-\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 - a\dot{\varphi} - \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) - 2 \left(\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 - a\dot{\varphi} + \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) \right) \right) + m_1 \cdot \ddot{Z}_1 = 0; \\
& \frac{1}{2} \left(4c_{wr}(-P + Z_2 - \varphi_2) + c_s \left(-2 \left(\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_2\right) + Z - Z_2 + b\varphi - \frac{L}{2} \psi \right) - 2 \left(-\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_2\right) + Z - Z_2 + b\varphi + \frac{L}{2} \psi \right) \right) \right) + \frac{1}{2} \left(4\mu_{wr}(-\dot{P} + \dot{Z}_2 - \dot{\varphi}_2) + \mu_s \left(-2 \left(-\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_2\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 - b\dot{\varphi} - \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) - 2 \left(\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_2\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 - b\dot{\varphi} + \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) \right) \right) + m_2 \cdot \ddot{Z}_2 = 0; \\
& \frac{1}{2} c_s \left(2a \left(\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) + Z - Z_1 + a\varphi - \frac{L}{2} \psi \right) - 2b \left(\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_2\right) + Z - Z_2 - b\varphi - \frac{L}{2} \psi \right) + 2a \left(-\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) + Z - Z_1 + a\varphi + \frac{L}{2} \psi \right) - 2b \left(-\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_2\right) + Z - Z_2 - b\varphi + \frac{L}{2} \psi \right) \right) + \frac{1}{2} \mu_s \left(2a \left(-\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 + a\dot{\varphi} - \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) - 2b \left(-\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_2\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 - b\dot{\varphi} - \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) + 2a \left(\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 + a\dot{\varphi} + \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) - 2b \left(\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_2\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 - b\dot{\varphi} + \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) \right) + J_{YB} \ddot{\varphi} = 0; \\
& \frac{1}{2} \left(-4c_{wr}(-P + Z_1 - \varphi_1) + c_s \left(-L \left(\sin\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) \left(\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) + Z - Z_1 + a\varphi - \frac{L}{2} \psi \right) + L \sin\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) \left(\cos\left(\frac{L}{2} \varphi_1\right) + Z - Z_1 + a\varphi + \frac{L}{2} \psi \right) \right) \right) + \frac{1}{2} \left(-4\mu_{wr}(-\dot{P} + \dot{Z}_1 - \dot{\varphi}_1) + \mu_s \left(-L \left(\cos\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) \left(-\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 + a\dot{\varphi} - \frac{L}{2} \dot{\psi} + L \cos\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) \times \left(\sin\left(\frac{L}{2} \dot{\varphi}_1\right) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 + a\dot{\varphi} + \frac{L}{2} \dot{\psi} \right) \right) \right) \right) J_{Y1} \ddot{\varphi}_1 = 0;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2}(-4c_{wr}(-P + Z_2 - \varphi_2) + c_s(-L(\sin(\frac{L}{2}\varphi_2)(\cos(\frac{L}{2}\varphi_2) + Z - Z_2 - b\varphi - \frac{L}{2}\psi) + \\
& + L\sin(\frac{L}{2}\varphi_2)(-\cos(\frac{L}{2}\varphi_2) + Z - Z_1 - a\varphi + \frac{L}{2}\psi))) + \frac{1}{2}(-4\mu_{wr}(-\dot{P} + \dot{Z}_2 - \dot{\varphi}_2) + \\
& + \mu_s(-L(\cos(\frac{L}{2}\dot{\varphi}_2)(-\sin(\frac{L}{2}\dot{\varphi}_2) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 + b\dot{\varphi} - \frac{L}{2}\dot{\psi} + L\cos(\frac{L}{2}\dot{\varphi}_2)(\sin(\frac{L}{2}\dot{\varphi}_2) + \\
& + \dot{Z} - \dot{Z}_1 - b\dot{\varphi} + \frac{L}{2}\dot{\psi})))J_{Y2}\ddot{\varphi}_2 = 0; \\
& \frac{1}{2}c_s(-L(\cos(\frac{L}{2}\varphi_1) + Z - Z_1 + a\varphi - \frac{L}{2}\psi) - L(\cos(\frac{L}{2}\varphi_2) + Z - Z_2 - b\varphi - \frac{L}{2}\psi) + \\
& + L(-\cos(\frac{L}{2}\varphi_1) + Z - Z_1 + a\varphi + \frac{L}{2}\psi) + L(-\cos(\frac{L}{2}\varphi_2) + Z - Z_2 - b\varphi + \frac{L}{2}\psi)) + \\
& + \frac{1}{2}\mu_s(-L(-\sin(\frac{L}{2}\dot{\varphi}_1) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 + a\dot{\varphi} - \frac{L}{2}\dot{\psi}) - L(-\sin(\frac{L}{2}\dot{\varphi}_2) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 - b\dot{\varphi} - \frac{L}{2}\dot{\psi}) + \\
& + L(\sin(\frac{L}{2}\dot{\varphi}_1) + \dot{Z} - \dot{Z}_1 + a\dot{\varphi} + \frac{L}{2}\dot{\psi}) + L(\sin(\frac{L}{2}\dot{\varphi}_2) + \dot{Z} - \dot{Z}_2 - b\dot{\varphi} + \frac{L}{2}\dot{\psi})) + J_{XB}\ddot{\psi} = 0
\end{aligned}$$

Используя программный продукт "*Wolfram Mathematica*" определены перемещения и ускорения, а также сила тяги при преодолении пути с продольным уклоном $i = 70\%$ (дороги с учетом мелких неровностей в 0,05 – 0,2 м) согласно СНиП 2.05.07 – 91 «Промышленный транспорт. Строительные нормы и правила», передними и задними колесами для автосамосвала БелАЗ – 7513 с параметрами: $a=2,2$ м, $b=3,1$ м, $c=3,1$ м; $c_{wr}=3,75 \cdot 10^5$ Н/м; $c_s=1,8 \cdot 10^4$ Н/м, $\mu_s=3 \cdot 10^5$ Нс/м²; $m_1=3500$ кг, $J_{Y1}=7875$ кгм²; $m_2=7000$ кг, $J_{Y2}=15750$ кгм²; $m_B=240000$ кг, $J_{XB}=101,2 \cdot 10^4$ кг м²; $J_{YB}=243 \cdot 10^4$ кг м²; $r=1,57$ м; $\dot{X}=8,9$ м/с.

На рис. 3.4 приведены графики изменения основных динамических показателей автосамосвала при движении по участку дороги с продольным уклоном дороги $i=70\%$, при наличии мелких неровностей на протяжении 20 секунд.

Для оценки влияния конструктивных параметров автосамосвала на тягово-скоростные характеристики автосамосвала с учетом профиля и характера подъема необходимо установить зависимость тяговых характеристик автосамосвала от продольного уклона дороги с учетом распределения реакций на передние и задние колеса.

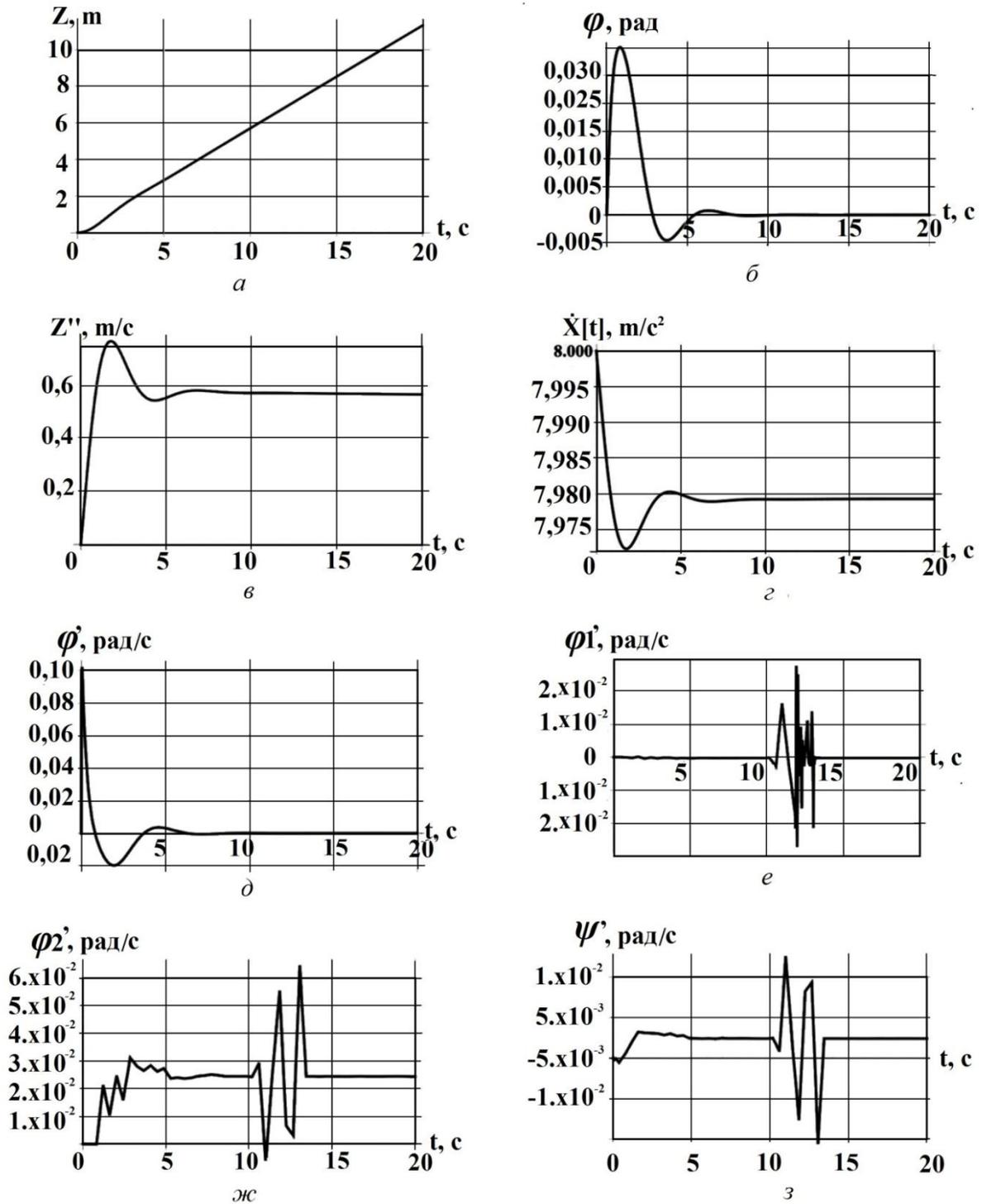


Рисунок 3.4 – Графики параметров движения по участку дороги с продольным уклоном дороги $i=70\%$: *a* – перемещение центра масс КАС по вертикали с учетом функции $P(x)$; *б* – угловое перемещение кузова КАС относительно оси центра масс; *в* – *a*; *г* – ускорение КАС по курсу с уклоном в $i=70\%$; *д* – угловое ускорение КАС относительно поперечной оси Y , проходящей через центр масс КАС; *е* – угловое ускорение передней оси относительно центра масс; *ж* – угловое ускорение задней оси относительно центра масс; *з* – угловое ускорение КАС относительно продольной оси X , проходящей через центр масс

Из рис. 3.4 *з* видно, что ускорение всей системы в момент движения автосамосвала по дороге с продольным уклоном и неровностями не постоянно, это влечет изменение величины силы тяги системы, то есть на систему действуют следующие силы сопротивления:

сила сопротивления качению F_K :

$$F_K = F_{K1} + F_{K2}, \quad (3.8)$$

где F_{K1} , F_{K2} – силы сопротивления качению на колесах соответственно передней и задней оси автосамосвала:

$$\begin{aligned} F_{K1} &= fk \cdot R_F; \\ F_{K2} &= fk \cdot R_R, \end{aligned} \quad (3.9)$$

где fk – коэффициент сопротивления качению, зависит от уплотнения грунта, высоты неровности и радиуса колеса, принимаем равным 0,197 (движение по крупному щебню, с перепадами неровностей в 0,2 м (–0,2...0...0,2 м) описывается в функции $P(x)$).

Реакция на заднюю ось:

$$\begin{aligned} R_R = \frac{1}{a+b} & \left[\left(m_1 \cdot r + \frac{J_1}{r} + m_2 \cdot r + \frac{J_2}{r} + m_B \cdot c \right) \cdot \ddot{X} + G_B \cos \varphi \cdot a - \right. \\ & \left. - G_B \cdot \sin \varphi \cdot c - G_1 \cdot \sin \varphi \cdot r + G_2 \cdot \cos \varphi \cdot (a+b) - G_2 \cdot \sin \varphi \cdot r \right] \end{aligned} \quad (3.10)$$

Реакция на переднюю ось:

$$R_F = (G_1 + G_2 + G_B) \cdot \cos \varphi - R_R. \quad (3.11)$$

Сила F_V сопротивления воздуха принимается равной 0, в результате малых скоростей.

Сила сопротивления подъему:

$$F_{II} = Ga \cdot \sin \varphi.$$

Сила инерции всей системы:

$$F_i = \left(\frac{2(J_1 + J_2)}{r^2} + 2m_1 + 2m_2 + m_B \right) \cdot \ddot{X}. \quad (3.12)$$

Тогда сила тяги всей системы будет равна сумме сил сопротивления:

$$F_t = F_K + F_V + F_{II} + F_i. \quad (3.13)$$

Исследования показали, что при наличии возможности изменения межосевого расстояния (рис.3.5) происходит значительное уменьшение необходимой силы тяги при движении по дороге с продольным уклоном 70‰, о чем свидетельствуют результаты, представленные на рис. 3.6.

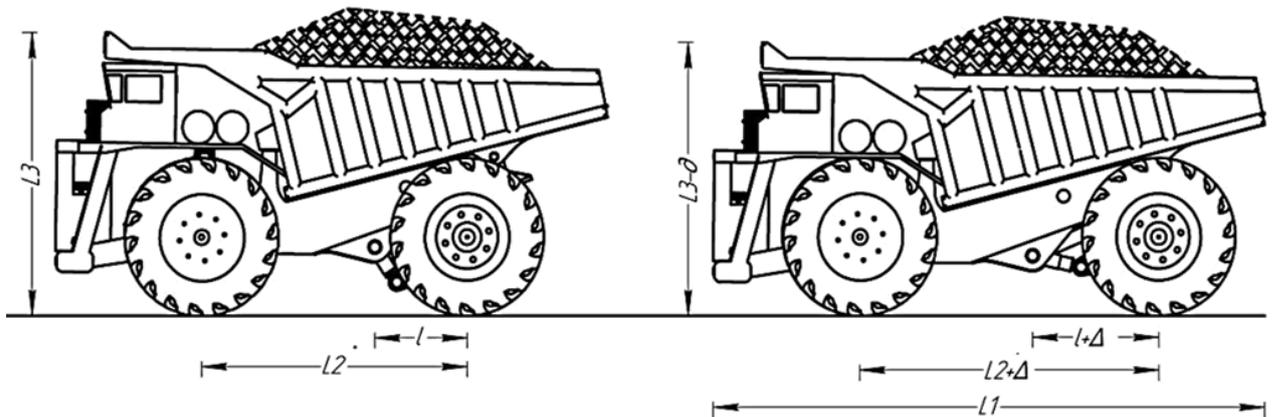


Рисунок 3.5 – Карьерный автосамосвал с обычным и измененным межосевым расстоянием

На рисунке 3.6 приведены результаты экспериментальных исследований движения КАС по дороге с продольным уклоном в 70‰, с учетом мелких неровностей (до 0,2 м), математическая модель движения КАС приведена в (Приложение Е).

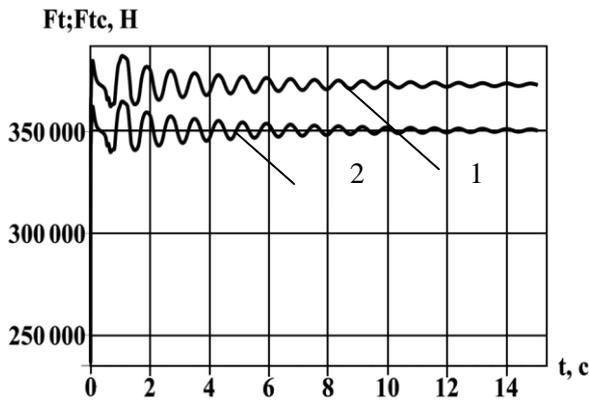


Рисунок 3.6 – Сила тяги всей системы, приложенная к ведущим колесам по дороге с продольным углом наклона $i = 70\%$: 1 – с обычной базой (межосевое расстояние $L = 5,3$ м); 2 – с измененной базой ($L = 5,96$ м)

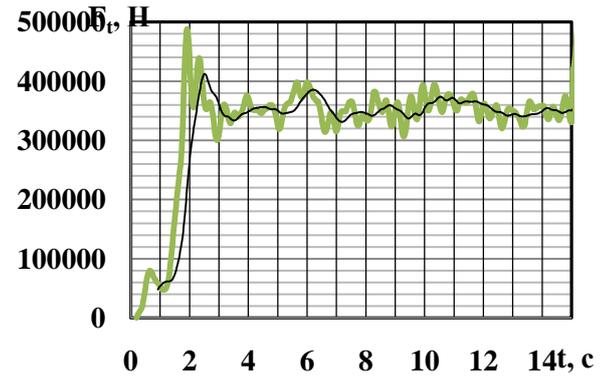


Рисунок 3.7 – Сила тяги всей системы, приложенная к ведущим колесам по дороге с продольным углом наклона $i = 70\%$, с измененной базой (межосевым расстоянием $L = 5,96$ м)

В результате того, что сила тяги включает в себя сумму сил: сопротивления инерции, сопротивления подъему, сопротивления воздуха, сопротивления качению, последняя в свою очередь раскладывается на произведение коэффициента сопротивления качения и уменьшенной реакции, приходящейся на заднюю ось, что позволило рекомендовать увеличение угла продольного уклона карьерной автодороги.

Возможность применения МЦМ на карьерном автотранспорте подтверждается положительной оценкой на техническом совете специалистов ООО "БЕЛАЗ ТЕХНОЦЕНТР", результаты которой приведены в приложении Ж.

Предлагаемые конструктивные решения для автосамосвала обеспечивают рациональное использование его технических возможностей, позволят сократить ширину автодорог на криволинейных участках трасс за счет уменьшения радиуса поворота, увеличить угол уклона карьерных дорог и сократить их протяженность или увеличить возможную высоту подъема горной массы с глубокого горизонта до перегрузочного пункта (что детально будет рассмотрено в разделе 4).

3.4 Обоснование возможных параметров системы разработки при транспортировании горной массы автосамосвалами с механизмом изменения центра масс и межосевого расстояния

3.4.1 Разработка технологической схемы движения автосамосвала в карьере

На основании проведенных исследований (см. гл. 3.2 – 3.3) и данных моделирования движения автосамосвала с МЦМ по внутрикарьерным дорогам (см. гл. 3.3 данной работы) рекомендуется следующая схема (рис. 3.8) движения автосамосвала при его различных состояниях (порожнее, груженое) и направлении перемещении груза (на спуск, на подъем).

На рис. 3.8 изображен технологический процесс включения в работу МЦМ. Порожний и груженный автосамосвал передвигается по прямолинейным участкам в обычном состоянии.

Межосевое расстояние уменьшается при:

- приближении и движении по криволинейному участку, которые обычно располагаются на горизонтальном промежутке трассы, что обеспечит минимальный радиус поворота;
- при маневрировании под погрузку и разгрузку, что обеспечит минимальные радиус поворота и соответственно размеры рабочей площадки.

Также, как уже отмечалось, минимизация радиуса поворота автосамосвала кроме регулирования параметров систем разработки, позволит увеличить производительность автосамосвалов и экскаваторов [99, 108].

Также процесс регулирования включения механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния, может осуществляться оператором, или полностью автоматически, в зависимости от условий движения и места нахождения автомобиля в карьере, что обеспечит должную безопасность процесса транспортирования горной массы карьерными автосамосвалами.

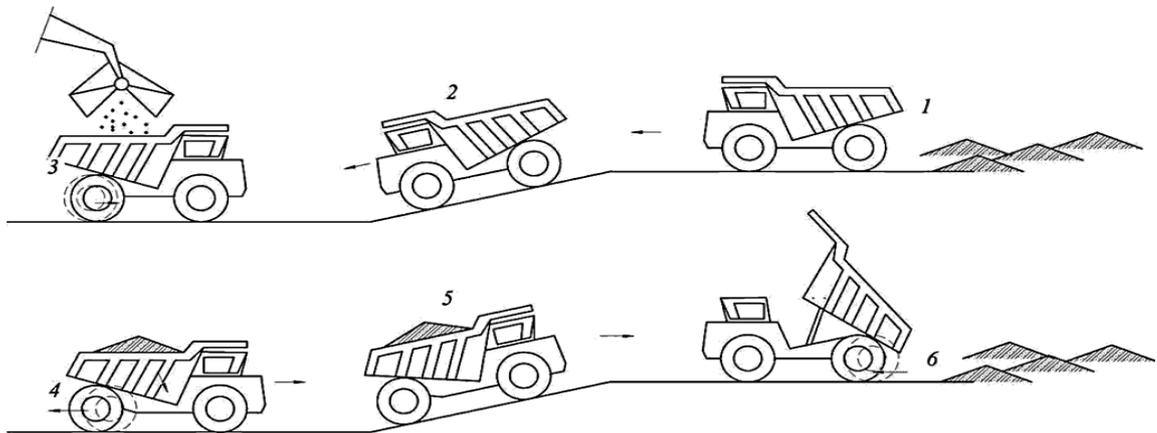


Рисунок 3.8 – Пример динамики изменения межосевого расстояния при движении автосамосвала с МЦМ по различным участкам карьерной дороги: 1 – движение порожнего автосамосвала с отвала в карьер; 2 – обычное ничем не лимитирующее состояние; 3 – сокращение межосевого расстояния под маневр или поворот на площадках для размещения криволинейного участка трассы; 4 – увеличение межосевого расстояния; 5 – движение автосамосвала с увеличенным межосевым расстоянием и пониженным центром масс, для безопасного преодоления карьерной дороги с большим продольным уклоном; 6 – сокращение межосевого расстояния при маневре под разгрузку.

Процесс работы механизма заключается в своевременном включении или выключении водителем дополнительно установленных электронных систем в кабине автомобиля, регулирующих весь процесс работы механизма, т.е. включения введенных дополнительных гидронасосов, под воздействием которых происходит процесс геометрического изменения гидроцилиндров. Гидроцилиндры расположены под кузовом, между лонжеронами трубчатого сечения, и перемещают вдоль рамы автосамосвала установленный на салазках ползун, с закрепленными на нем упругими элементами и задним мостом. Для обеспечения плавного и равномерного перемещения заднего моста процесс синхронизации удлинения гидроцилиндров обеспечивает связывающий их между собой продольный рычаг. Гибкость системы МЦМ заключается в том, что продольное

перемещение заднего моста можно производить в любой момент рабочего процесса, что также в значительной степени сокращает общее технологическое время от момента подъезда автосамосвалом на загрузку до момента выгрузки горной массы.

Далее рассмотрены варианты достижимые по конструктивным характеристикам автосамосвала усовершенствованной конструкции значений параметров систем разработки на основании данных выполненного моделирования (см. гл. 3.2) результатов изменения эксплуатационно-технических характеристик автосамосвалов с МЦМ, а именно конструктивно возможные радиусы поворота КАС, уклоны автодорог, высота подъема горной массы и угол наклона борта карьера.

3.4.2 Установление конструктивно возможных радиусов поворота автосамосвалов

В зависимости от модели применяемого автосамосвала установлен радиус его поворота и разворота, определенный заводом-изготовителем. Как свидетельствуют результаты моделирования применения МЦМ на автосамосвалах типа БелАЗ – 75131 при уменьшении межосевого расстояния радиус поворота также уменьшается, а при увеличении межосевого расстояния – соответственно радиус увеличивается.

На рис. 3.9 приведена расчетно-конструктивная схема поворота автосамосвала при трех положениях межосевого расстояния: уменьшенном, нормальном, увеличенном. На рис. 3.9 показаны схемы движения автосамосвала по радиальной кривой в момент рабочего процесса, где радиус поворота автосамосвала БелАЗ – 75131 без МЦМ, $R_{\min-\max}=13-13,5$ м; радиус поворота автосамосвала БелАЗ – 75131 с МЦМ, $R_{\min-\max}=10-14,4$ м [102].

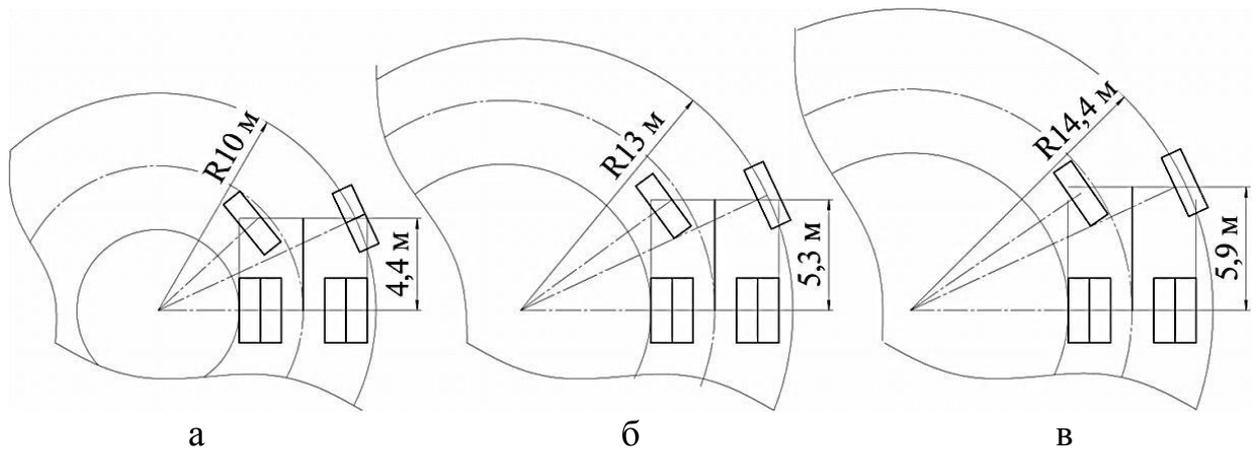


Рисунок 3.9 – Расчетно-конструктивная схема поворота во время движения карьерного автосамосвала с МЦМ: а – сокращенное межосевое расстояние, б – нормальное состояние, в – увеличенное межосевое расстояние

Так при уменьшении межосевого расстояния на величину Δ (см. рис. 3.5) равную 0,9 м радиус поворота сокращается на 3 м (см. рис. 3.14 а, б). При увеличении межосевого расстояния на величину 0,6 м радиус поворота увеличивается на 1,4 м (см. рис. 3.9 а, б, в).

На основании моделирования движения автосамосвала по криволинейным участкам с различным размером межосевого расстояния построен график (рис. 3.10), отображающий изменение при этом радиуса поворота.

Анализ результатов свидетельствует, что радиус поворота изменяется в зависимости от межосевого расстояния по некой зависимости, которая для автосамосвала БелАЗ – 75131 представляется логарифмической функцией (см. рис. 3.10).

Варьируя межосевым расстоянием базы карьерного автосамосвала можно уменьшить конструктивный радиус поворота машины, что позволяет уменьшить: а) параметры рабочих площадок; б) радиусы криволинейных участков автомобильных дорог и петлевых съездов (более детально этот вопрос рассмотрен на примерах действующих карьеров в разделе 4).

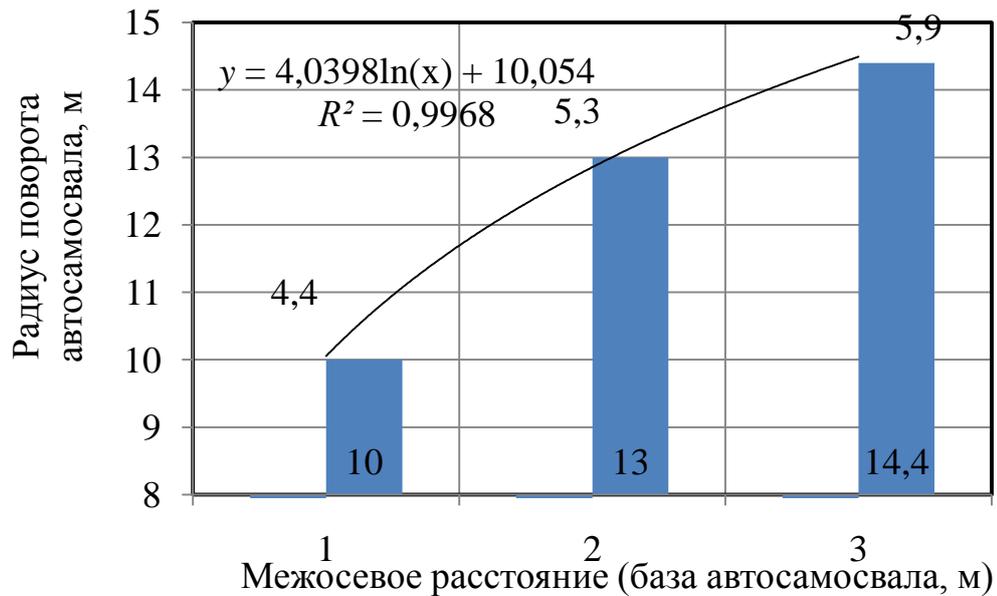


Рисунок 3.10 – График изменения радиуса поворота автосамосвала при изменении длины межосевого расстояния: 1 - сокращенное межосевое расстояние, 2 - стандартное межосевое расстояние, 3 - увеличенное межосевое расстояние

Таким образом, значение радиуса поворота автосамосвала любой модели при изменении межосевого расстояния можно представить в виде формулы:

$$R = a \cdot \ln l + b, \quad (3.14)$$

где R – радиус поворота автосамосвала;

a и b – коэффициенты, зависящие от модели и конструкции автосамосвала;

l – межосевое расстояние.

Сокращение параметров транспортных коммуникаций возможно при применении модернизированного автосамосвала с механизмом изменения центра масс (МЦМ). Этот механизм позволяет изменять центр масс и межосевое расстояние карьерной автомобильной техники, сохраняя при этом тяговые свойства электродвигателей.

3.4.3 Установление возможных уклонов автодорог по конструктивным параметрам карьерных автосамосвалов

Как свидетельствуют результаты исследований (см. гл. 3.3) предлагаемый механизм изменения центра масс (см. гл. 3.2.2) позволяет увеличить силу тяги на 11 – 25 %. При этом возможное увеличение силы тяги тем больше, чем меньше преодолеваемый уклон дороги (см. рис. 3.11).

Следовательно, с учетом рекомендуемых [89] условий устойчивого движения автосамосвалов уклон автодороги можно принять в пределах до 100 – 160‰. С учетом того, что в настоящее время на железорудных карьерах принятый уклон автодорог в среднем составляет 80-120‰, применение автосамосвалов с МЦМ позволит конструктивно увеличить его в 2 – 3 раза, что позволит сократить длину транспортирования и, соответственно количество транспортных берм на уступах бортов карьера и позволит вскрыть законсервированные под транспортными коммуникациями запасы с минимальной вскрышей (разнос бортов в пределах контура карьера на величину сокращаемых транспортных берм).

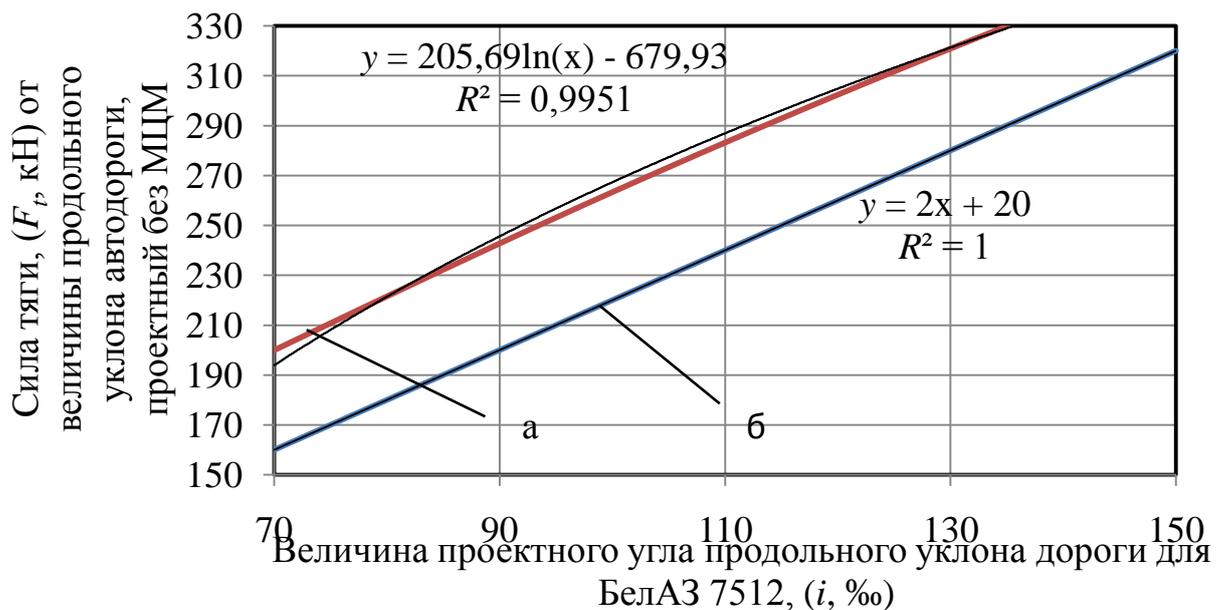


Рисунок 3.11 – Зависимость требуемой силы тяги для преодоления угла продольного уклона дорог при движении: а) без МЦМ; б) с МЦМ

При увеличении продольного угла карьерной автодороги необходимо обеспечить должную безопасность эксплуатации транспортного средства, на основании аналитически-графического исследования построена модель карьерного автосамосвала с введенным углом устойчивости, рис. 3.12. Устойчивость движения автосамосвала по дорогам с повышенным уклоном обеспечивается перемещением центра масс автосамосвала одновременно с изменением межосевого расстояния конструкцией МЦМ (см. рис. 3.12).

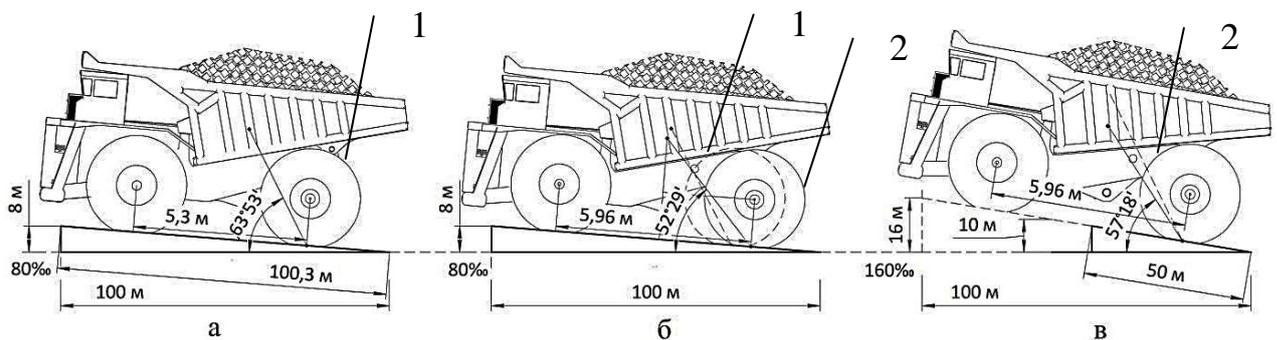


Рисунок 3.12 – Изменение угла устойчивости автосамосвала: а – стандартное положение задней оси грузенного автосамосвала при движении на подъем в 80‰, б – измененное положение (рабочее) задней оси грузенного автосамосвала при движении на подъем в 80‰, в – рекомендуемый угол продольного уклона автодороги в 160‰, при измененном положении (рабочем) задней оси грузенного автосамосвала при движении на подъем от величины угла устойчивости. 1 – обычное (стандартное) межосевое расстояние грузенного автосамосвала БелАЗ – 7512, при движении по дороги с продольным уклоном на подъем; 2 – измененное межосевое расстояние грузенного автосамосвала БелАЗ – 7512, при движении по дороги с продольным уклоном на подъем

Угол устойчивости, образованный лучом, проходящим через центр тяжести карьерного автосамосвала и центр пятна контакта колес привода и горизонтали, уменьшается при увеличении межосевого расстояния и увеличивается при уменьшении межосевого расстояния. Безопасность

эксплуатации КАС обеспечивается поддержанием, в пределах, необходимого угла устойчивости, за счет использования МЦМ при транспортировании горной массы автосамосвалом по карьерной дороге с повышенным продольным уклоном рис.3.12.

Исследования показали [108], что при движении груженого автосамосвала БелАЗ–7512 (120т) по дороге с продольным уклоном 120‰, применение МЦМ, а т.е. изменение межосевого расстояния и центра масс, при тех же равных условиях силы тяги на приводе дает возможность использовать автосамосвал на дорогах с повышенным продольным уклоном в 150‰ (Приложение 3), где показана зависимость доли пройденного расстояния от величины продольного уклона дороги на условленную высоту, при равных тягово-скоростных параметрах работы привода КАС.

Как видно график зависимости доли пройденного пути от уклона автодороги несёт гиперболический характер (Приложение 3).

3.4.4 Определение рациональной высоты подъема горной массы автосамосвалами при различных уклонах автомобильных дорог

Как видно из выше установленных зависимостей (см. гл. 3.4.3) при применении МЦМ на автосамосвалах возможно увеличить уклон дорог, что позволит уменьшить длину транспортирования горной массы автосамосвалами.

Поскольку уклон дорог лимитируется условиями безопасного движения автотранспорта на подъем (без перегрева двигателя), то сокращение длины транспортирования при повышенном уклоне дорог позволит увеличить высоту подъема горной массы до перегрузочного пункта, то есть можно будет на некоторую величину произвести углубку карьера без переноса перегрузочного пункта на нижележащие горизонты, что подтверждается опытом работы глубоких карьеров.

Таким образом, необходимо установить взаимосвязь между расстоянием

транспортирования горной массы автосамосвалами и высотой подъема.

Предположим, что автосамосвал перемещает груз на высоту H_n . Тогда расстояние транспортирования только на подъем l груза составит:

$$l = \frac{H_{II}}{i}, \quad (3.15)$$

где i – продольный уклон дороги, ‰.

Для защиты двигателя автосамосвала от перегрева при движении на подъем через расстояние l_n проектируют горизонтальные участки дороги длиной l_2 . Параметры l_n и l_2 зависят от грузоподъемности и тяговых характеристик применяемых автосамосвалов. Количество горизонтальных вставок зависит от длины транспортирования на подъем l (3.15) и длины единичного участка подъема l_n , т.е.:

$$n = \frac{l}{l_n}. \quad (3.16)$$

Тогда общая длина транспортирования горной массы L_0 составит:

$$L_0 = l + n + l_2. \quad (3.17)$$

При подстановке выражений (3.15) и (3.16) в (3.17) общая длина транспортирования может быть представлена в следующем виде:

$$L_0 = \frac{H_{II}}{i} \cdot \left(\frac{L_{II}}{L_{II}} + 1 \right). \quad (3.18)$$

Допустим, что расстояние транспортирования автосамосвалами L_0 задано

исходя из экономичности применения автосамосвалов данной грузоподъемности. Тогда из выражения (3.19) рациональная высота подъема горной массы автосамосвалами составит:

$$H_{II} = \frac{L_0 \cdot i}{\frac{l_2}{l_n} + 1} \quad (3.19)$$

В выражения (3.18) и (3.19) входит величина l_n – величина подъема горной массы до горизонтальной вставки, которая зависит от уклона автодороги:

$$l_n = \frac{h_3}{i}, \quad (3.20)$$

где h_3 – высота, на которую может поднять груз автосамосвал без горизонтальной вставки, м.

Из выражения (3.21) h_3 равно:

$$h_3 = l_n \cdot i. \quad (3.21)$$

С учетом выражения (3.21) высота подъема горной массы автосамосвалами может быть записана в виде:

$$H_{II} + \frac{L_0 \cdot i}{\frac{l_2 \cdot i}{h_3} + 1} \quad (3.22)$$

Примем постоянными $L_0 = 3000$ м, $l_n = 500$ м, $l_2 = 100$ м, а уклон дороги переменным $i = 0,06; 0,08; 0,10; 0,12; 0,15; 0,20$. В результате расчетов получен график изменения возможной высоты подъема горной массы при увеличении

уклона автодороги (рис. 3.13).

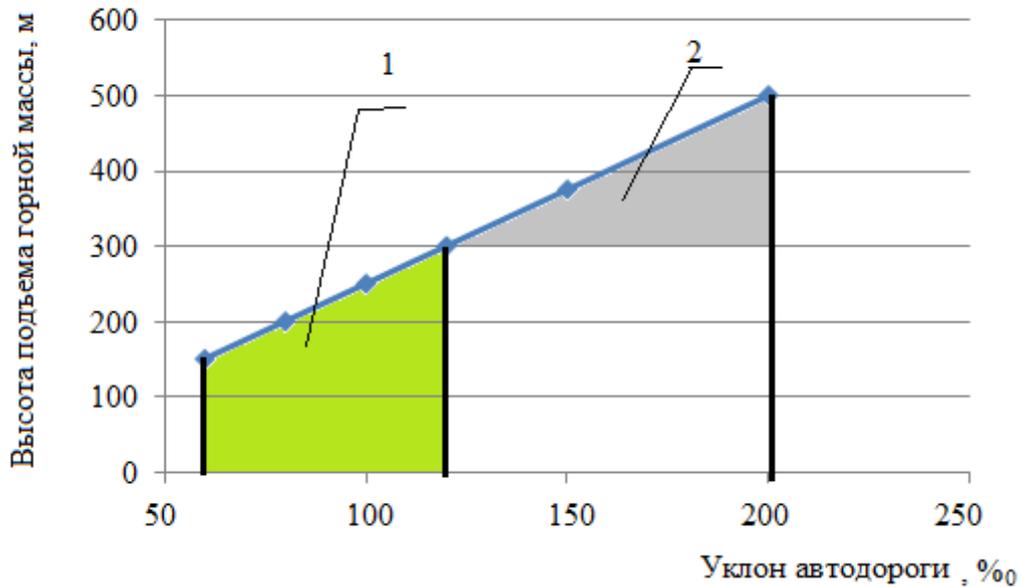


Рисунок 3.13 – Зависимость возможной высоты транспортирования горной массы при существующих уклонах дорог (1) и увеличенных (2) за счет применения автосамосвалов с МЦМ от уклона дороги

На графике (рис. 3.13) серым цветом показана величина увеличения высоты подъема горной массы при увеличении уклонов автодорог, которая составляет 200 м при уклоне 200‰.

Таким образом, применение автосамосвалов с МЦМ позволяет за счет увеличения уклонов автодорог углубить карьер без переноса перегрузочного пункта.

При сохранении постоянным значения высоты подъема горной массы значительно сокращается длина транспортирования (см. рис. 3.14). Так при увеличении уклона автодороги на 66 % уменьшается длина транспортирования на 40%.

Сокращение общей длины транспортирования горной массы по внутрикарьерным дорогам обеспечивает уменьшение количества транспортных берм, что способствует возможности вскрытия законсервированных под ними запасов с минимальной вскрышей.

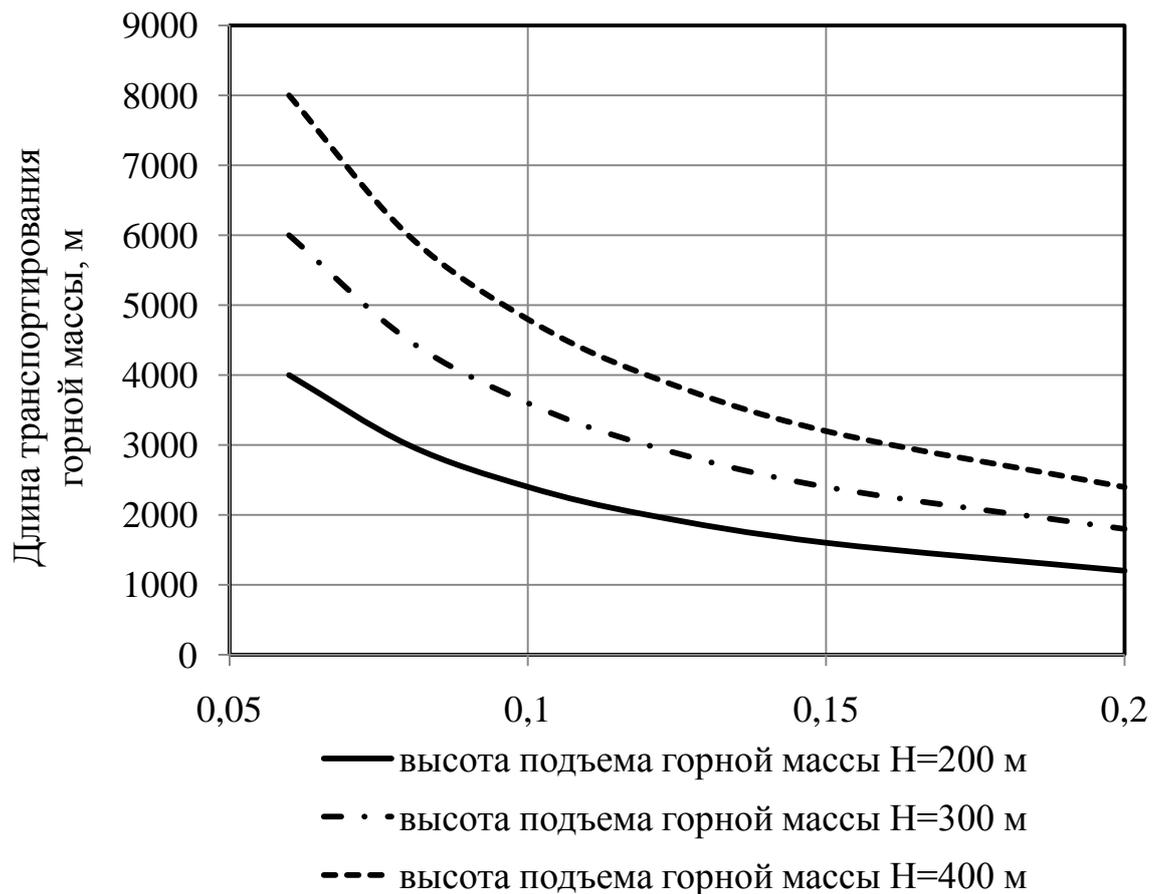


Рисунок 3.14 – Сокращение длины транспортирования горной массы при увеличении продольного уклона автодороги

3.4.5 Взаимосвязь параметров систем разработки глубоких карьеров и эксплуатационно-технических параметров карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции

Как было установлено ранее (см. гл. 3.4.1 – 3.4.4) применение автосамосвалов усовершенствованной конструкции позволяет сократить транспортные коммуникации в карьере, размер, протяженность и уклон которых непосредственно влияют на угол откоса борта карьера, на котором они расположены (см. гл. 2.2). На основании этого с целью установления возможных параметров систем разработки при применении КАС с МЦМ выполнен горно-геометрический анализ.

Предположим, что нерабочий борт карьера, на котором расположены

транспортные коммуникации состоит из k уступов одинаковой высоты h_y , то есть высота борта равна $H = k \cdot h_y$. На этом же борту расположено n площадок для разворота автосамосвалов шириной $Ш_p$, которые включают и транспортную берму. Тогда угол откоса нерабочего борта составит:

$$\operatorname{tg} \gamma_H = \frac{k \cdot h_y}{(k \cdot n)b_T + n \cdot Ш_p + k \cdot b_{II} + k \cdot h_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}, \quad (3.23)$$

где b_T и b_{II} – ширина соответственно транспортной и предохранительной берм;

α – угол откоса уступа.

При применении автосамосвалов типа БелАЗ с МЦМ для транспортирования горной массы возможно изменение базы с 4,4 до 5,9 м (см. гл. 3.4.2), что позволяет уменьшить площадки для разворота на величину x .

С учетом этого ширина площадки для разворота автосамосвала будет равна:

$$Ш_{p.M} = Ш_p \cdot (1 - x).$$

Тогда угол откоса нерабочего борта при использовании автосамосвалов с МЦМ составит:

$$\operatorname{tg} \gamma_{H.M.} = \frac{k \cdot h_y}{(k \cdot n)b_T + n \cdot Ш_p(1 - x) + k \cdot b_{II} + k \cdot h_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}, \quad (3.24)$$

Поскольку рудные залежи, обрабатываемые железорудными карьерами Украины представлены двумя типами залежей (синклиальная складка (рис. 3.15) и крутопадающая залежь (рис. 2.1)), то для каждого из них далее рассмотрено уменьшение объемов вскрыши.

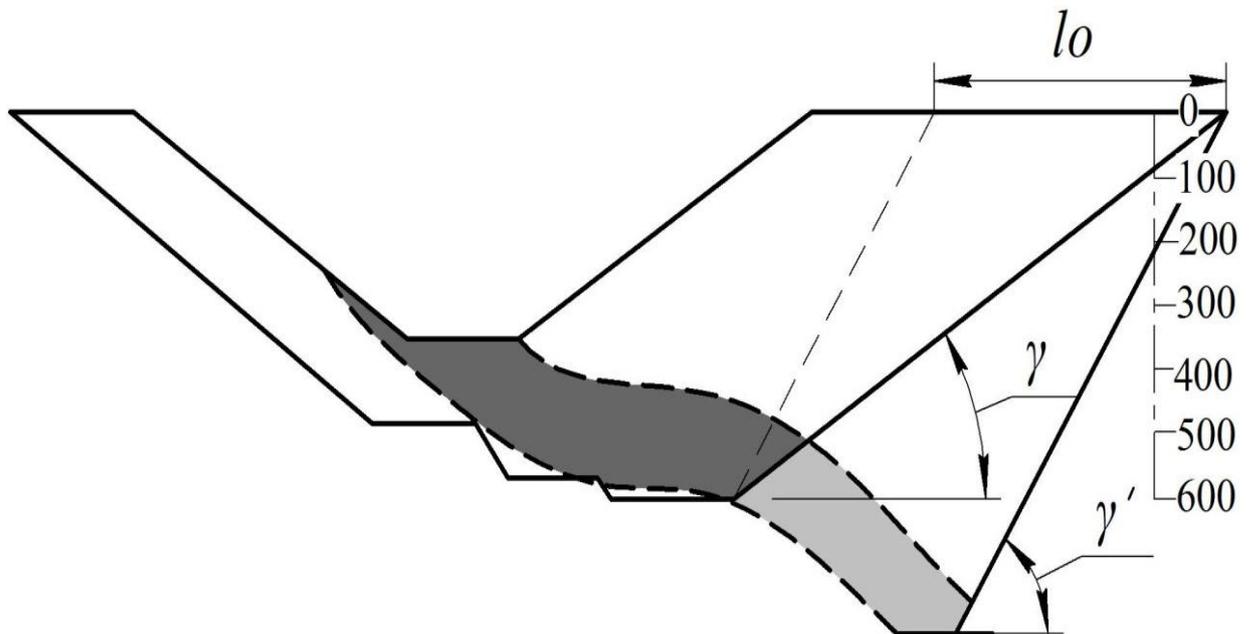


Рисунок 3.15 – Схема к определению уменьшения объемов вскрышных работ при отработке запасов с повышенным углом откоса нерабочего борта карьера

Для условий отработки месторождения в виде синклинали складки (рис. 3.15) уменьшение объемов вскрыши составит:

$$S = 0,5 \cdot l_0 \cdot H \cdot L_\phi,$$

где l_0 – основание треугольника (см. рис.3.20),

$$l_0 = k \cdot h_y (\operatorname{ctg} \gamma_H - \operatorname{ctg} \gamma_{H.M.}),$$

H – высота борта карьера, равная $H = k \cdot h_y$,

L_ϕ – длина фронта, на протяжении которого расположены площадки для разворота автосамосвалов.

При этом площадь S равна:

$$S = 0,5 \cdot (k \cdot h_y)^2 \cdot (\operatorname{ctg} \gamma_H - \operatorname{ctg} \gamma_{H.M.}) \cdot L_\phi.$$

Тогда объем вскрыши составит:

$$V_M = 0,5 \cdot (k \cdot h_y)^3 \cdot (\operatorname{ctg} \gamma_H - \operatorname{ctg} \gamma_{H.M.}) \cdot L_\phi,$$

а объем дополнительных вскрытых запасов:

$$V_3 = 0,5 \cdot l_0 \cdot m \cdot L_\phi,$$

где m – мощность залежи, м

Несколько отличается величина прироста запасов и объем вскрыши при отработке крутопадающей залежи (см.рис. 2.1).

Формулы для определения прироста запасов и объема вскрышных работ имеют вид (2.2) и (2.3).

Таким образом, уменьшение на отдельных участках ширины (площадки для разворота автосамосвалов) и длины транспортных коммуникаций в карьере позволяет увеличить угол наклона борта карьера и объем вскрытых запасов. Абсолютные достигаемые значения этих параметров систем разработки карьера получены в 4 разделе данной работы.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. На основе проведенного анализа параметров, определяющих величину углов откоса бортов карьера, обоснован механизм влияния эксплуатационно-технических параметров автосамосвалов (грузоподъемность, радиус поворота, габариты, тяговые характеристики, скорость движения) на параметры системы разработки и горнотранспортной системы (ширину рабочей площадки и перегрузочного пункта; продольный уклон внутрикарьерных автодорог и их длину; угол откоса уступа; глубину карьера и высоту подъема горной массы), ус-

тановлены относительные степени влияния каждого из перечисленных параметров, что позволило установить наиболее значимые из них.

2. На основе интегрального метода оценки влияния эксплуатационно-технических характеристик автомобильного транспорта на параметры систем разработки глубоких карьеров установлено, что сокращение объемов вскрышных работ и увеличение объемов вскрытых запасов на глубоких горизонтах достигается при увеличении продольного уклона автодорог и уменьшении радиуса разворота автосамосвала, что возможно только путем технического усовершенствования карьерных автосамосвалов.

3. На основании проведенного анализа распределения реакции дороги на передние и задние колеса при движении автосамосвала на подъем и спуск с грузом и без него установлено, что сила тяги и радиус разворота автосамосвала зависят от межосевого расстояния и положения центра масс автосамосвала, на основании чего был выполнен комплекс исследований по разработке способа изменения межосевого расстояния.

4. Разработан способ изменения положения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ) автосамосвала, который позволяет повысить преодолеваемый продольный уклон и сократить радиус разворота автосамосвала. Результативность предложенного способа проверена математическим моделированием (в программном комплексе «Универсальный механизм») с учетом обеспечения безопасности движения и прочности конструкции, которое показало следующие результаты:

– увеличение межосевого расстояния автосамосвала типа БелАЗ – 75131 позволяет увеличить силу тяги до 25 % и соответственно преодолеваемый продольный уклон, а при движении по дороге с уклоном 70‰ значительно снижается потребляемая сила тяги, что позволит более экономично расходовать дизельное топливо;

– уменьшение межосевого расстояния автосамосвала на величину Δ , равную 0,9 м, позволяет уменьшить радиус его поворота на 3 м.

5. Установлено, что увеличение продольного уклона внутрикарьерных автодорог со 120 до 200‰ при применении автосамосвалов с МЦМ позволит увеличить высоту подъема горной массы на 200 м или сократить расстояние транспортирования до 40 %.

Установлено, что уменьшение количества петлевых съездов (за счет увеличения уклона автодорог) и сокращение радиуса поворота автосамосвала позволяет увеличить угол откоса борта карьера и с сокращенным объемом вскрышных работ частично вскрыть законсервированные под транспортными коммуникациями запасы.

Таким образом, применение автосамосвалов с МЦМ по сравнению с автосамосвалами традиционной конструкции имеет ряд преимуществ, проявляющихся в уменьшении параметров внутрикарьерных транспортных коммуникаций и в результате в увеличении возможного угла наклона борта карьера, на котором они расположены, с минимальным объемом вскрышных работ.

РАЗДЕЛ 4

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ В КОНКРЕТНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АВТОСАМОСВАЛОВ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ**

4.1 Обоснование выбора объектов для исследований эффективности применения карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции

Ранее изложенными исследованиями взаимосвязи параметров систем разработки глубоких горизонтов (см. гл. 2) установлено, что основными факторами, влияющими на выбор рациональных значений этих параметров, являются радиус поворота, применяемого в карьере автосамосвала, и величина преодолеваемого им продольного уклона, которые характеризуются максимальными балами, по интегральной оценке, при сравнении всех аргументов сложной функции площади вскрытых запасов. Изменение этих двух параметров возможно при помощи улучшения эксплуатационно-технических характеристик карьерного автосамосвала. В 3 разделе предложено решение этой задачи произвести за счет применения механизма изменения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ). Математическое моделирование механизма показало возможность менять межосевое расстояние базы: увеличивать до 14 % и уменьшать до 23 %, что отображается на радиусе поворота автосамосвала. Так если заводской конструктивный радиус поворота равен 13 м, то с применением МЦМ минимальный равен 10 м, а максимальный - 14,4 м.

Изменение радиуса поворота автосамосвала создает предпосылки для изменения параметров систем разработки:

– уменьшить ширину рабочих площадок «экскаватор – автосамосвал» на глубоких горизонтах в стесненных условиях;

- уменьшить в плане ширину площадки для размещения петли поворотов существующих транспортных коммуникаций автотранспорта и использовать при проектировании развития горных работ;

- увеличить продольные уклоны автодорог по критерию безопасности.

Для детального изучения вышеперечисленных факторов было рассмотрено их влияние на параметры систем разработки глубоких горизонтов карьера в конкретных горно-геологических условиях. Исследования проводились на базе рабочих чертежей рабочих проектов по ОАО «Полтавский ГОК», Первомайскому карьере СевГОКа, карьере ОАО «Лебединский ГОК». Данные карьеры выбраны по следующим причинам:

- все рассматриваемые карьеры относятся к глубоким;

- на этих карьерах используются разные виды транспорта (на Первомайском карьере – автомобильно-железнодорожный; на карьере Полтавского ГОКа – автомобильный; на карьере Лебединского ГОКа комбинированный вид транспорта в сочетании конвейерного, железнодорожного и автомобильного), что позволяет рассмотреть рациональность предлагаемых решений в различных условиях эксплуатации автомобильного транспорта.

Результаты математического моделирования и горно-геометрического анализа существующего состояния разработки глубоких карьеров, а также установленные взаимосвязи между параметрами систем разработки и эксплуатационно-техническими характеристиками КАС позволили разработать «Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня» (Приложение И).

На основании результатов исследования также была разработана методика определения оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния (Приложение К).

Реализация рекомендаций и методики осуществлена на ИГТМ им.Н.С. Полякова НАН Украины (Приложение Б), ОАО «Полтавский ГОК»

(Приложения А, Г), Государственный ВУЗ «Национальный горный университет» (Приложение В).

4.2 Технико-экономическая оценка применения карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции при повышенных уклонах автодорог на примере ОАО «Полтавский ГОК»

4.2.1 Исследование влияния продольных уклонов автомобильных дорог на объем горно-капитальных работ

Одной из наиболее актуальных проблем разработки глубоких горизонтов карьера является разнос бортов для размещения транспортных коммуникаций. Этот объем горных работ составляет десятки миллионов кубометров вскрышных пород. Кроме того, это приводит к выполаживанию бортов карьера, что характерно для карьеров с небольшой длиной дна, в которых уменьшение протяженности уступов с глубиной происходит наиболее интенсивно. Увеличение уклонов автодорог позволяет сократить длину транспортных коммуникаций и разнос бортов, повысить экономические показатели открытого способа разработки.

Согласно нормативным документам [1, п.п.7.7.4] «наибольший продольный уклон постоянных технологических дорог с твердым покрытием для автомобильного транспорта 4×2 должен быть не более 80 ‰, для грунтовых дорог – 50 ‰. Для дорог II-к и III-к в направлении груженого транспорта может быть увеличен на 10 ‰, а на дорогах с ограниченным сроком действия до 1 года – на 30 ‰».

Преодоление продольных уклонов сверх нормы автосамосвалами приводит к повышенному износу шин, перегреву двигателя, увеличению расхода топлива и т.д. Поэтому Нормами технологического проектирования [1, п.п.7.7.4] предусмотрены варианты внедрения в производство инновационной техники и технологий «використання на маршруті сучасних або нових моде-

лей кар'єрних автосамоскидів із підвищеним рівнем експлуатаційних характеристик, для окремих ділянок (довжиною не більше 600 м) доріг II-к і III-к категорій у напрямку вантажного руху на підйом максимальний повздовжний ухил допускається приймати, виходячи з рекомендацій заводу-виробника, наданих в експлуатаційній документації...». Таким образом, в проектних организациях допускаются внедрения модернизированной техники и проработки документации горной части, на которую они влияют.

Ранее выполненные исследования показали, что применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ) (базы автосамосвала – см. рис. 3.10), происходит уменьшение необходимой силы тяги при движении по дороге с продольным уклоном 70‰, о чем свидетельствуют результаты, представленные в гл. 3.3.2 (см. рис. 3.11 – 3.12). Сохранение тяговых характеристик электродвигателей автосамосвалов с МЦМ дает возможность увеличить продольный уклон автомобильной дороги на 23% от имеющегося (см. гл.3.4.3).

Поскольку вся совокупность горнотехнических условий в случае применения автосамосвала с МЦМ делится на две области, определяющие два основных режима работы автосамосвала (с применением МЦМ, без него), для каждого режима работы автосамосвала с МЦМ определена возможность перехода на повышенный уклон дороги и объем горно-капитальных работ.

При строительстве моделей карьера в системе КОМПАС 3D с различным уклоном вскрывающих выработок, рассчитывались объемы вскрыши в конечных контурах карьера, и производилось сравнение этих объемов. Так, при сравнительном анализе взятых данных карьера ОАО «Полтавский ГОК», увеличение уклонов вскрывающих выработок с 70‰ (проектный вариант) до 90‰ имеющих по проекту на конец отработки глубину 302 м, сокращение объемов вскрыши составляет 25 млн. м³, т. е. 13,4 % от общих объемов в контуре. Разница в погоризонтных объемах вскрыши изменяется от 0 – 4 % на нижних горизонтах, до 11 – 20,5 % - на верхних и средних.

Расположение и порядок перемещения фронта рабочих уступов оказывают существенное влияние на объемы горно-капитальных работ, объемы транспортирования горных пород. В случае транспортирования пород на внешние отвалы, для системы разработки с применением автомобильного транспорта, характерной расчетной формулой по определению объемов горно-капитальных работ является [59]:

$$V = b \cdot H_k \cdot L_{П.ДОП} + H_k^2 \cdot L_{П.ДОП} \cdot \operatorname{ctg} \gamma, \quad (4.1)$$

где b – горизонтальное расстояние от нерабочего борта карьера до полезного ископаемого, соответствующего высоте H_k , м;

$L_{П.ДОП}$ – протяженность автомобильных дорог, м;

γ – угол откоса нерабочего борта карьера соответственно при уклоне вскрывающих выработок i_1 и i_2 , град.

Согласно поставленной задаче о повышенных уклонах автодорог рассматриваемые уклоны должны быть в диапазоне оптимального значения уклона по физическим параметрам и предельного значения уклона, но не выше технологически обусловленного:

$$0 \leq i < i_{ПРЕД},$$

где $i_{ПРЕД}$ – предельное значение уклона, соответствующее техническим ограничениям автосамосвала с использованием МЦМ.

Выполнены расчеты по определению объема горно-капитальных работ в зависимости от изменения продольного уклона автомобильных дорог по выражению (4.1). В исследовании принимались значения продольного уклона существующие, проектные и предельно возможные по техническим возможностям карьерного автосамосвала. В результате построен график объема до-

полнительного разноса бортов от угла откоса нерабочего борта карьера, которая выступает функцией по аргументу i (рис. 4.1).

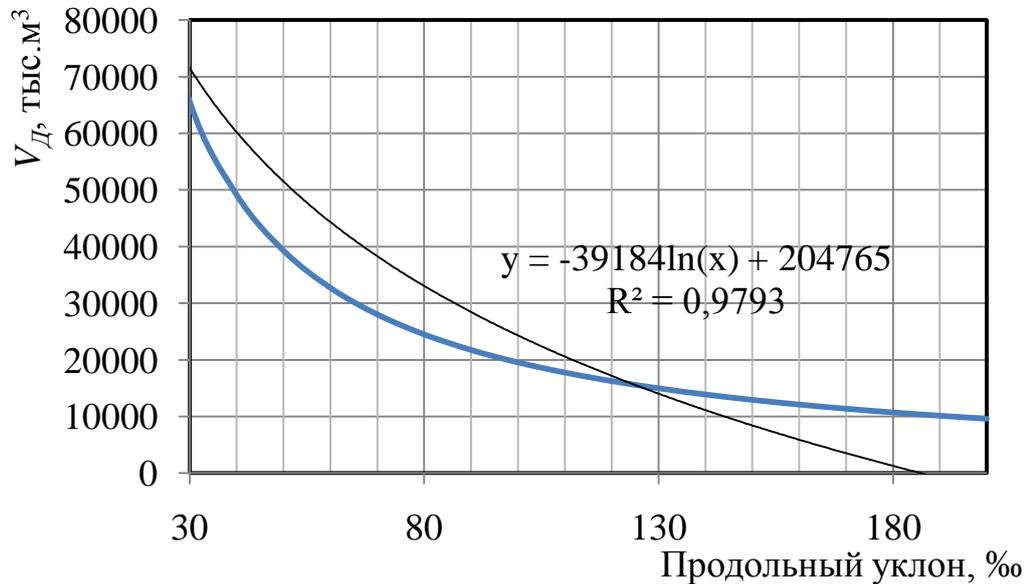


Рисунок 4.1 – Объем дополнительного разноса бортов в зависимости от продольного уклона автодороги

Обоснование оптимальных уклонов карьерных автодорог в конкретных горнотехнических условиях эксплуатации выполнено на примере карьера Полтавского ГОКа.

ОАО «Полтавский ГОК» основан в 1970 г., расположен в г. Комсомольске Полтавской области и занимает территорию в 5453 га, которая отведена комбинату в постоянное пользование. По состоянию горных работ на 01.10.2014 г. карьер ОАО «Полтавский ГОК» вскрыт до горизонта минус 280 м. Глубина карьера от поверхности достигает 302 м. Это крупный карьер, в котором для транспортировки горной массы применяет автомобильный, железнодорожный и конвейерный транспорт. Автомобильный транспорт обслуживает полностью нижнюю и частично среднюю, и верхнюю по высоте карьера зоны. Технологические постоянные автомобильные дороги с твердым покрытием занимают северный и северо-восточный борта, технологические

дороги II-к и III-к категориям расположены по южному и юго-восточному бортам, временные с ограниченным сроком эксплуатации - на западном борту.

Сначала по планам горных работ был выявлен продольный уклон автомобильных дорог по всему карьере, что отображено на схеме рисунка 4.2. Установлено, что в карьере применяются постоянные технологические дороги автомобильных трасс с уклонами 70 – 90‰, временные с ограниченным сроком эксплуатации до 1 года с уклоном 120 – 135‰.

Теоретические исследования технических возможностей автосамосвала БелАЗ-75131 (см. гл. 3.3) показали, что усовершенствование его конструкции при помощи МЦМ позволит преодолевать большие продольные уклоны карьерных автодорог на 20 – 25% без потери силы тяги и без уменьшения мер безопасности (см. гл. 3.3). Исходя из расчета возможности увеличения силы тяги, рассчитаны рекомендуемые продольные уклоны автомобильных дорог для глубоких горизонтов Полтавского карьера (табл. 4.1).

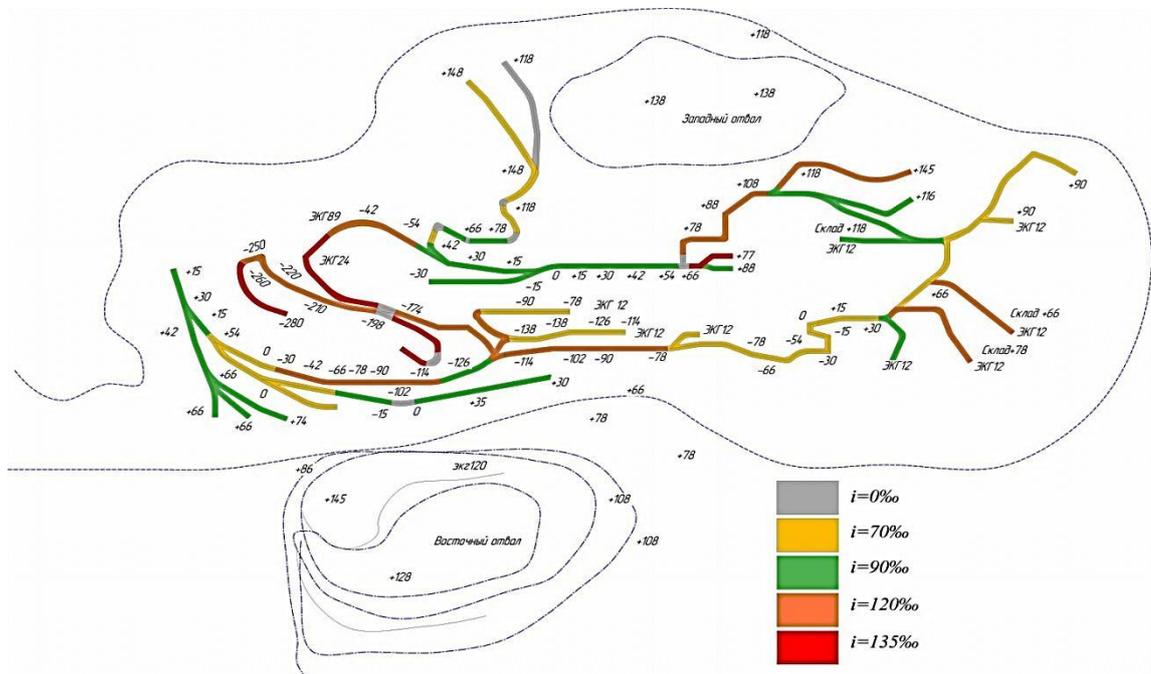


Рисунок 4.2 – Схема автомобильных дорог карьера ОАО «Полтавский ГОК» с указанием применяемых продольных уклонов

По результатам исследований тяговых характеристик автосамосвала и мер безопасности обоснованы приращение силы тяги и продольного уклона

транспортных коммуникаций, что позволило рассчитать рекомендуемый продольный уклон автодорог. Отношение применяемого продольного уклона дороги к рекомендуемому выражено логарифмической функцией и представлено на рисунке 4.3.

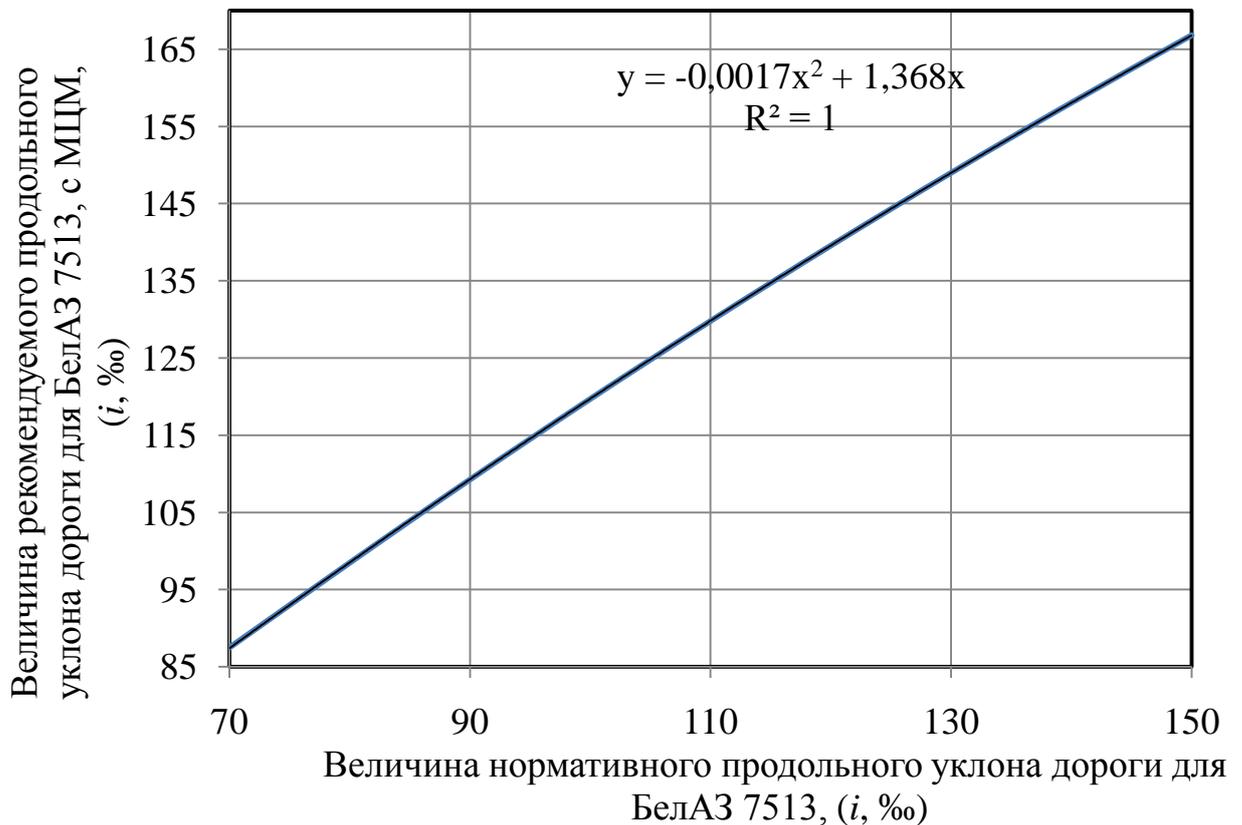


Рисунок 4.3 – Определение типа соотношения применяемого (нормативного) продольного уклона дороги к рекомендуемому

Рассчитанные рекомендуемые продольные уклоны постоянных технологических автомобильных дорог и временных дорог с ограниченным сроком эксплуатации на глубоких горизонтах Полтавского карьера рационально применять при дальнейшем проектировании развития горных работ, подвигании борта и формировании транспортных коммуникаций.

Таблица 4.1 – Рекомендуемые уклоны продольных дорог исходя из силы тяги автосамосвала

Продольные уклоны автомобильных дорог на глубоких горизонтах карьера, ‰		Сила тяги автосамосвала,		
проектные	рекомендуемые	увеличение силы тяги от проектного угла, ‰	при проектном уклоне i , Ft, кН	при рекомендованном уклоне i , Ft, кН
70	87,5	25	160	200
80	98,48	23,1	180	221,58
90	109,26	21,4	200	242,8
100	119,7	19,7	220	263,34
110	129,8	18	240	283,2
120	139,56	16,3	260	302,38
130	148,98	14,6	280	320,88
140	158,06	12,9	300	338,7
150	166,8	11,2	320	355,84

4.2.2 Технико-экономическая оценка повышения продольных уклонов автодорог на примере карьера ОАО «Полтавский ГОК»

В качестве методической основы расчета и технико-экономического оценки влияния величины продольных уклонов карьерных автодорог были использованы «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов...» [112, 35].

Капитальные затраты, связанные с основным процессом транспортирования горной массы следует рассчитывать, как:

$$Z^K = Z^K_A + Z^K_{PEM} + Z^K_{ДОП} + Z^K_{СО} + Z^K_{ГК.Р}, \quad (4.2)$$

где Z^K_A – капитальные затраты на приобретения подвижного состава автомобильного транспорта;

Z^K_{PEM} – капитальные затраты на ремонтно-техническую базу;

$Z_{ДОР}^K$ – капитальные затраты на строительство и поддержания автомобильных дорог;

$Z_{СО}^K$ – капитальные затраты в сферу обслуживания населения;

$Z_{ГК.Р}^K$ – капитальные затраты на горно-капитальные работы и реконструкцию транспортных коммуникаций.

Капитальные затраты на приобретения подвижного состава определяются по формуле:

$$Z_A^K = C_A \cdot N_H, \quad (4.3)$$

где C_A – стоимость базового автосамосвала, с учетом установки МЦМ, тыс. грн.;

N_H – инвентарный парк технологического автотранспорта, ед.

Капитальные вложения в ремонтно-техническую базу:

$$Z_{РЕМ}^K = k'_Г \cdot k_a \cdot N_u, \quad (4.4)$$

где $k'_Г$ – капитальные затраты на строительство гаража на один списочный автосамосвал;

k_a – коэффициент учитывающий количество автомобилей в хозяйстве.

Количество автомобилей, шт.	50	100	150	200	250
Коэффициент k_a	1,5	1,25	1,1	1	0,9

Капитальные затраты на строительство постоянных дорог:

$$Z_{ДОР}^K = k'_{ДОР} \cdot L_{П.ДОР}, \quad (4.5)$$

где $k'_{ДОР}$ – капитальные затраты на строительство 1 км автомобильной дороги, тыс. грн.;

$L_{П.ДОР}$ – протяженность автомобильных дорог, км.

Капитальные затраты в сферу обслуживания населения:

$$Z_{CO}^K = (k_C + k'_Г) \cdot k_{Ж} \cdot N, \quad (4.6)$$

где k_C – стоимость объектов жилищного и гражданского строительства на одного трудящегося в основных отраслях производства, $k_C = 8,2$ тыс.грн.

$k'_Г$ – капитальные затраты на городской транспорт, заготовительно-снабженческие объекты на одного трудящегося, тыс. грн., (по данным предприятий $k'_Г = k_C \cdot 0,2$);

$k_{Ж}$ – коэффициент численности жителей, приходящихся на одного работающего в основном производстве;

N – численность трудящихся, занятых в транспортном процессе.

Затраты на горно-капитальные работы:

$$Z_{ГК.Р}^K = V_{ГК.Р} \cdot C_{ГК.Р}, \quad (4.7)$$

где $V_{ГК.Р}$ – объем горно-капитальных работ, м³;

$C_{ГК.Р}$ – себестоимость горно-капитальных работ, грн/м³.

Годовые эксплуатационные затраты (\mathcal{E} , тыс. грн.)

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_T + \mathcal{E}_B, \quad (4.8)$$

где \mathcal{E}_T – эксплуатационные затраты на автотранспорт, тыс. грн.;

\mathcal{E}_B – эксплуатационные затраты на выемку вскрыши, тыс. грн.

Эксплуатационные затраты на выемку вскрыши определяются технологической схемой перехода на повышенный уклон автодорог (см. разд. 4.2):

$$\mathcal{E}_B = C_B \cdot k_\delta \cdot V_B, \quad (4.9)$$

где C_B – себестоимость вскрыши в базовом году за исключение эксплуатационных затрат на автотранспорт, грн/м³;

V_B – объем выемки вскрыши в t -ом году по рассматриваемому варианту уклона, м³;

k_B – коэффициент, учитывающий влияние глубины карьера на увеличение себестоимости вскрыши по отношению к базовому варианту.

Эксплуатационные затраты на автомобильный транспорт в t -ом году по рассматриваемому варианту рассчитывались по формуле:

$$\mathcal{E}_T = C_3 + C_{ТОП} + C_{СМАЗ} + C_{АМ} + C_{Ш} + C_{РЕМ} + C_{Г.Х.} + C_{ДОР} + C_O + C_H, \quad (4.10)$$

где C_3 – затраты на основную и дополнительную зарплату водителей;

$C_{ТОП}$, $C_{СМАЗ}$ – затраты, соответственно, на дизельное топливо и смазочные материалы;

$C_{АМ}$ – амортизационные отчисления на полное восстановление и капитальный ремонт автосамосвала;

$C_{Ш}$ – затраты на восстановление износа автошин;

$C_{РЕМ}$ – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт;

$C_{Г.Х.}$ – эксплуатационные расходы на содержание гаражного хозяйства;

$C_{ДОР}$ – эксплуатационные расходы на содержание и ремонт технологических карьерных автодорог;

C_O – основные расходы в сфере обслуживания;

C_H – накладные расходы.

Основная и дополнительная зарплата водителей (тыс. грн.) оценивается как:

$$C_3 = \Phi_a \cdot N_{И} \cdot K_{СП} \cdot K_P \cdot П_{СМ}, \quad (4.11)$$

где Φ_a – годовой фонд заработной платы в расчете на одного водителя, тыс. грн.;

$k_{СП} = 1,1$ – коэффициент списочного штата водителей;

k_p – районный коэффициент к заработной плате.

Результаты расчета эксплуатационных затрат на выемку вскрыши (по формуле (4.9)) и эксплуатационных затрат на автомобильный транспорт (по формуле (4.8)) по рассматриваемой технологической схеме перехода на повышенный уклон автодорог представлен в графическом виде на рисунке 4.4.

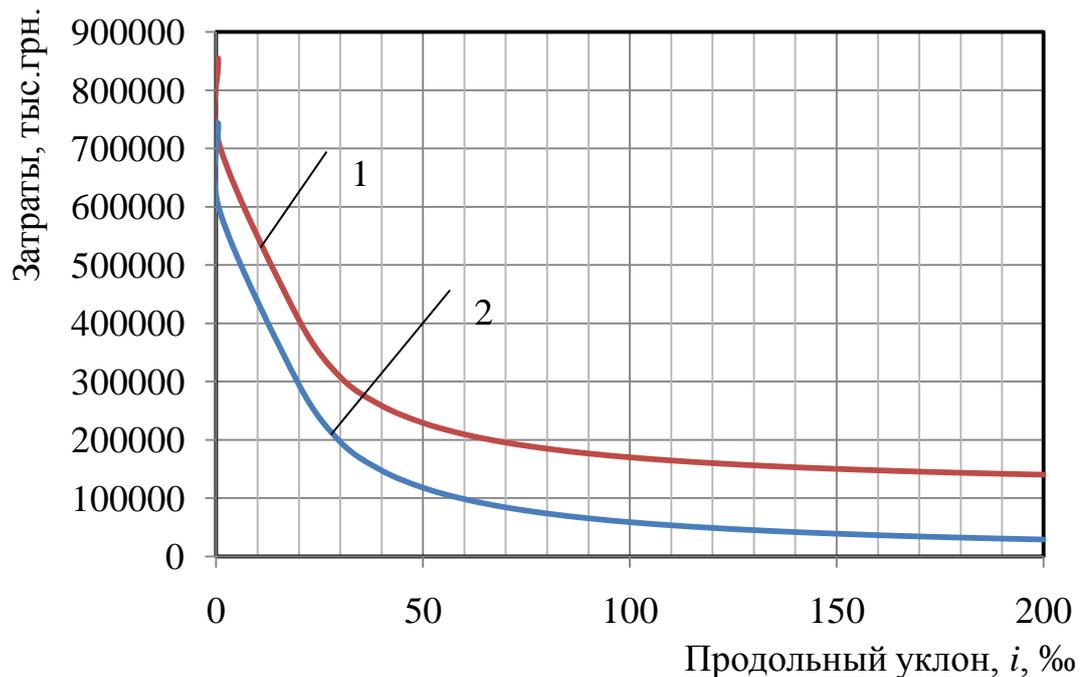


Рисунок 4.4 – Зависимость годовых и эксплуатационных затрат от продольного уклона автомобильной дороги: 1 – \mathcal{E} , общие годовые эксплуатационные затраты, тыс.грн.; 2 – \mathcal{E}_B , эксплуатационные затраты на выемку вскрыши по рассматриваемому варианту, тыс. грн.

По данным железорудных карьеров, на основную и дополнительную заработную плату, накладные расходы (C_H) принимаются в размере 80 % годовых затрат.

Годовые эксплуатационные расходы на дизельное топливо (грн.) определяются как:

$$C_{ТОП} = Q_G \cdot p_T, \quad (4.12)$$

где Q_G – годовой расход топлива по парку автосамосвалов, кг;

p_T – стоимость дизельного топлива, грн/кг.

Затраты на смазочные материалы принимаются в размере 30% затрат на дизельное топливо (данные с ОАО «Полтавский ГОК»).

Амортизационные отчисления на полное восстановление и капитальный ремонт подвижного состава (тыс. грн.) рассчитываются по формуле:

$$C_{AM} = (C_a - C_{au}) \cdot (A_B + A_{PEM}) \cdot k_K \cdot L_{ГОД} \cdot 10^{-2}, \quad (4.13)$$

где C_A , $C_{АШ}$ – стоимость, соответственно, базового автосамосвала и комплекта автошин, тыс. грн.;

k_K – 1,3 – коэффициент, учитывающий использование автотранспорта в карьерных условиях;

A_B , A_{PEM} – норма амортизационных отчислений на полное восстановление и капитальный ремонт, проценты на 1000 км пробега;

$L_{ГОД}$ – годовой пробег автопарка, тыс. км.

Затраты на восстановление износа автошин определяются по выражению:

$$C_{Ш} = C_{АШ} \cdot L_{ГОД} / L_{Ш} \cdot k_{Ш}, \quad (4.14)$$

где $L_{Ш}$ – нормативный пробег комплекта автошин, тыс. км;

$k_{Ш}$ – интегральный коэффициент влияния горнотехнических условий на пробег автошин, определяемый по формуле:

$$k_{Ш} = k_f \cdot k_{ДОР} \cdot k_i, \quad (4.15)$$

где k_f , $k_{ДОР}$, k_i – коэффициенты влияния крепости горных пород, удельного веса временных автодорог и уклонов в общем расстоянии транспортирования; принимаются по данным НИИ крупногабаритных автошин (табл. 4.1).

Таблица 4.1 - Корректирующие коэффициенты к нормам пробега крупногабаритных автошин

Крепость транспортируемой горной массы по шкале М.М. Протодьяконова		Доля временных автодорог в общем расстоянии транспортирования		Доля уклонов в общем расстоянии транспортирования	
f	k_f	$P_{ДОР}, \%$	$k_{ДОР}$	$P_i, \%$	k_i
1 – 3	1,15	0 – 10	1,00	0 – 10	1,00
3 – 5	1,09	10 – 20	0,96	10 – 20	0,98
5 – 7	1,00	20 – 30	0,92	20 – 30	0,94
7 – 10	0,89	30 – 50	0,88	30 – 50	0,91
10 – 13	0,77	50 – 70	0,86	50 – 70	0,88
13 – 15	0,70	>70	0,82	>70	0,85

Затраты на техническое обслуживание и текущие ремонты принимаются как:

$$C_{рем} = C'_{рем} \cdot L_{ГОД} / k_{РЕМ}, \quad (4.16)$$

где $C'_{рем}$ – удельный стоимостной показатель технического обслуживания и текущего ремонта, грн. на 1000 км пробега;

$k_{РЕМ}$ – интегральный коэффициент учета условий эксплуатации:

$$k_{РЕМ} = k_L \cdot k_i \cdot k_N \cdot k_f \cdot k_{ДОР}, \quad (4.17)$$

где $k_L, k_i, k_N, k_f, k_{ДОР}$ – коэффициенты, учитывающие, соответственно, расстояние транспортирования, продольный уклон автодорог, количество автомобилей в автохозяйстве, крепость и качество дорожного покрытия (табл. 4.2) [59].

Эксплуатационные расходы на содержание гаражного хозяйства рассчитываются по выражению:

$$C_{Г.Х} = C'_{Г.Х} \cdot N_{И}, \quad (4.18)$$

где $C'_{Г.Х.}$ – стоимость содержания гаражного хозяйства в расчете на один списочный автомобиль, тыс. грн. Значения приведены ниже:

$N_{И}$, шт.	15	30	50	100	200
$C'_{Г.Х.}$	40	33,6	30,4	23,2	16

Таблица 4.2 – Корректирующие коэффициенты к удельным стоимостным показателям технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов

Расстояние транспортирования		Уклон авто до-рог		Количество автомобилей в хозяйстве		Крепость транспортируемой горной массы		Дорожное покрытие	
L , км	k_L	i , %	k_i	N_a	k_N	f	k_f	тип	$k_{ДОР}$
0,2	1,67	0	1,00	До 25	1,3	До 5	1,00	асфальто-бетонное	1,00
0,5	1,55	2	1,10	26-50	1,1	5-10	1,05	щебеночное	1,25
0,8	1,45	4	1,25	51-100	1,0	10-15	1,20	без покрытия	1,35
1,1	1,36	6	1,45	101-200	0,9	>15	1,40	-	-
1,4	1,29	8	1,70	>200	0,8	-	-	-	-
1,7	1,21	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	1,15	-	-	-	-	-	-	-	-
2,3	1,09	-	-	-	-	-	-	-	-
2,6	1,05	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-

Эксплуатационные расходы на содержание и ремонт карьерных автодорог (тыс. грн.) равны:

$$C_{ДОР} = C_{П.ДОР} \cdot L_{П.ДОР} + C_{В.ДОР} \cdot L_{В.ДОР}, \quad (4.19)$$

где $C_{П.ДОР}$, $C_{В.ДОР}$ – стоимость содержания 1 км, соответственно, постоянных автодорог со щебеночным покрытием и временных автодорог, тыс. грн.;

$L_{П.ДОР}$, $L_{В.ДОР}$ – протяженность постоянных и временных автодорог, км.

Эксплуатационные расходы в сфере обслуживания населения определяются по выражению:

$$C_0 = C'_0 \cdot N \cdot k_{Ж}, \quad (4.20)$$

где C'_0 – затраты на содержание объектов сферы обслуживания населения на одного жителя в год, грн. (по данным предприятия ОАО «Полтавский ГОК» $C_0 = 1.87$ тыс. грн.).

В качестве исходных данных брались существующие в карьере продольные уклоны автодорог, которые составляют 60-100‰ для постоянных технологических автодорог, 80-135‰ для временных, срок действия которых составляет меньше года (см. рис. 4.2). Изначально рассчитывались капитальные затраты при существующей эксплуатации карьера со автотранспортом без модифицированных конструкций. Затем определялись потенциальные возможности автосамосвала, оборудованного механизмом изменения центра масс и межосевого расстояния, в процессе исследований которого было зафиксировано уменьшенная сила тяги Ft на преодолеваемом продольном уклоне карьерной автодороги. В результате рекомендуемых уклонов пересчитывались дополнительный разнос борта карьера (через объем горно-капитальных работ), капитальные затраты на приобретение подвижного состава автомобильного транспорта, на ремонтно-техническую базу, на строительство и поддержания автомобильных дорог повышенного уклона, на горно-капитальные работы и реконструкцию транспортных коммуникаций.

Результаты расчетов по вышеизложенной методике представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчета затрат на горно-капитальные работы с возможностью применения автотранспорта с МЦМ и перехода на повышенные уклоны автомобильных дорог

Показатель	Уклон автодороги, ‰								
	40	60	80	100	120	140	160	180	200
	Повышенный уклон автодороги, ‰								
	50	76	101	126	151	176	202	227	252
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Капитальные затраты Z_K , тыс.грн. с МЦМ	7460257	7296172	7214096	7164823	7131952	7108453	7090812	7077077	7066074
$L_{п.дор}$ – протяженность автомобильных дорог при повышенном уклоне, км	4.4	2.9	2.2	1.7	1.5	1.2	1.1	1.0	0.9
Капитальные затраты на строительство и поддержания автомобильных дорог, $Z_{кдор}$, тыс.грн.	344505.2	229670.1	172252.6	137802.1	114835.1	98430	86126.3	76556.7	68901
Капитальные затраты на горно-капитальные работы и реконструкцию транспортных коммуникаций, $Z_{КГК.Р.}$ тыс.грн.	147414.2	98164.3	73505.7	58683.5	48779.6	41686.0	36348.8	32182.5	28835.7

Продолжение табл.4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Годовые эксплуатационные затраты (Э, тыс. грн.)	258625.6	209375.6	184717.0	169894.9	159991.0	152897.4	147560.2	143393.9	140047.1
\mathcal{E}_B - эксплуатационные затраты на выемку вскрыши по рассматриваемому варианту на t -ом шаге расчета, тыс. грн.	147414.2	98164.3	73505.7	58683.5	48779.6	41686.0	36348.8	32182.5	28835.7
Объем дополнительного разноса бортов (V_D , м ³)	49138.1	32721.4	24501.9	19561.2	16259.9	13895.3	12116.3	10727.5	9611.9
Сокращение объемов дополнительного разноса бортов карьера ΔV , м ³	10000.1	10005.3	10012.5	10022.0	10034.0	10048.5	10065.9	10086.5	10110.6
γ – угол откоса нерабочего борта карьера соответственно при уклоне вскрывающих выработок, град.	41.5	41.8	42.1	42.6	43.1	43.8	44.7	45.6	46.8
Число витков спирали m при глубине карьера H_K	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1

В результате того, что сила тяги включает в себя сумму сил: сопротивления инерции, сопротивления подъему, сопротивления воздуха, сопротивления качению, последняя в свою очередь раскладывается на произведение коэффициента сопротивления качения и уменьшенной реакции, приходящейся на заднюю ось, что позволило рекомендовать увеличение угла продольного уклона карьерной автодороги.

По результатам расчета основных показателей затрат, связанных с горно-капитальными работами и эксплуатацией автомобилей, показаны их зависимости от увеличения продольного уклона в графическом виде на рис. 4.5.

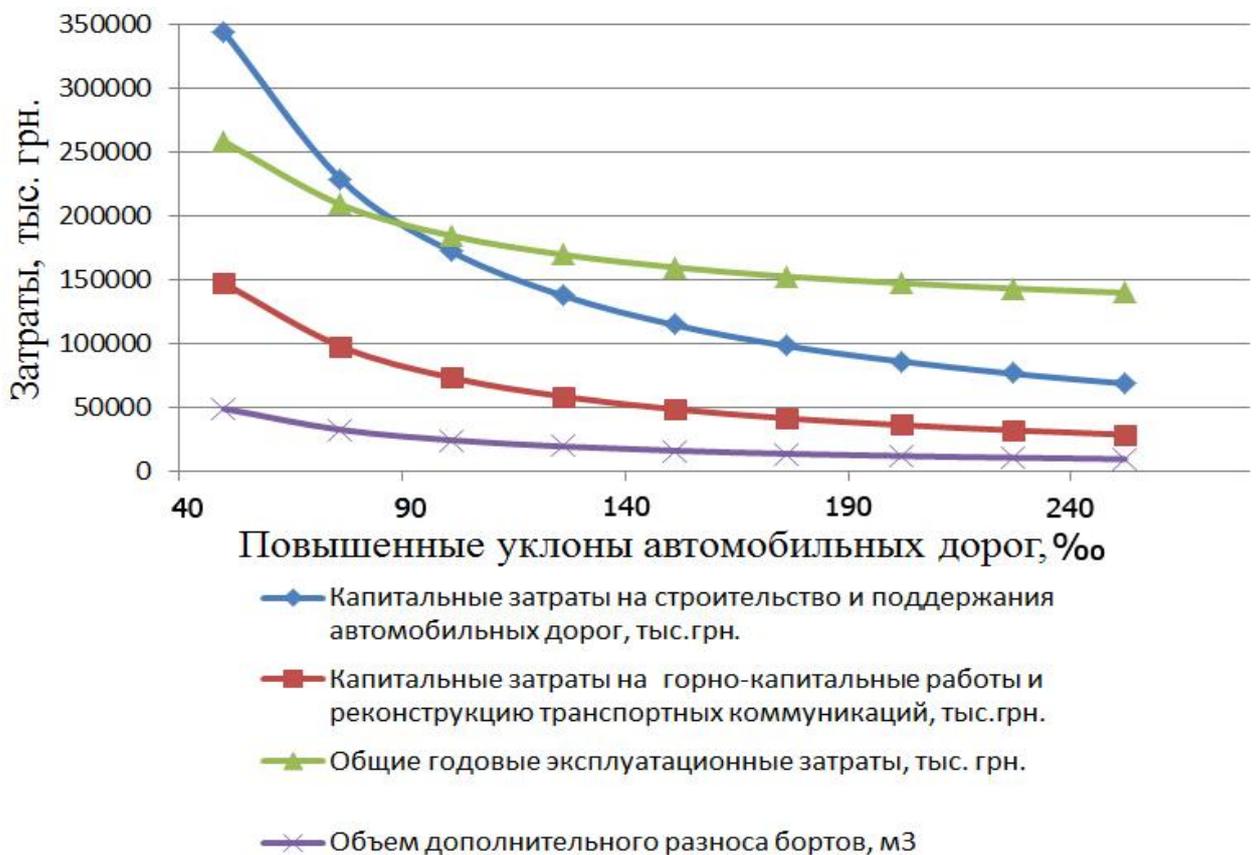


Рисунок 4.5 – Изменение затрат на горно-капитальные работы при переходе на повышенные уклоны автомобильных дорог по карьере

ОАО «Полтавский ГОК»

Экономические расчеты применения в карьере усовершенствованных конструкций автосамосвалов позволили обосновать повышение продольного

уклона автодорог на 20 – 25% от имеющегося, что составляет для постоянных технологических дорог 75-125%, для временных дорог сроком до 1 года – 100 – 200%. Ожидаемый экономический эффект от применения повышенных уклонов автодорог для постоянных технологических дорог составляет 49273 тыс. грн., для временных – 24738 тыс. грн.

Установлено, что увеличение продольного уклона внутрикарьерных автомобильных дорог при применении автосамосвалов с МЦМ позволяет сократить технологический объем необходимых вскрышных работ. Так если увеличить продольный уклон с 80% до 150%, то объем вскрышных работ изменится с 24501,9 м³ до 16259,9 м³, что составляет 33 %; тогда при изменении продольного уклона со 100% до 175% уменьшается с 19561,2 м³ на 13895 м³, что составляет 28,9%.

4.3 Установление области рациональных параметров рабочих площадок на примере Первомайского карьера ОАО «СевГОК»

Первомайское месторождение магнетитовых кварцитов детально разведано до глубины 700 метров. Глубина Первомайского карьера ОАО «СевГОКа» достигает 380 м. Данный карьер, как и все карьеры Криворожского железорудного бассейна, в кризисное время 90-х прошлого столетия и 2000-х годов снизили объемы выемки вскрышных пород, чтобы уменьшить себестоимость конечной продукции. Однако в настоящее время данные мероприятия привели к сокращению активных фронтов ведения открытых горных работ, снижению готовых и подготовленных к выемке запасов руды, стесненности условий отработки полезного ископаемого, наличием рабочих площадок, не соответствующим нормативным.

На глубоких горизонтах карьера возникает проблема добычи руды в связи со стесненностью внутрикарьерного пространства, минимальными параметрами рабочих площадок, ограниченностью вскрытых балансовых запасов месторождения. Вследствие извлечения полезного ископаемого из недр,

рабочий борт карьера выколаживается за счет выполнения значительных объемов выемки вскрышных пород. В свою очередь, угол рабочего борта карьера зависит от высоты уступов, ширины рабочих площадок, транспортных коммуникаций и ширины берм безопасности. Таким образом, параметры рабочих площадок влияют на выколаживание борта и при этом находятся в тесной взаимозависимости от внутрикарьерного пространства на глубоких горизонтах карьера.

При формировании рабочих чертежей на стадии проектирования рабочих проектов предусмотрено выполнение расчетов параметров рабочих площадок, которые должны обеспечивать работу добычного и транспортного оборудования.

В.В. Ржевский в работе [45] дает интервал возможных значений ширины рабочей площадки $Ш_{р.п.}$ в пределах:

$$B + 1,7R_{ч.у.} \geq Ш_{р.п.} \geq B + B_1, \quad (4.21)$$

где B – ширина площадки между верхней бровкой добычного уступа и нижней бровкой вскрышного уступа, м;

$R_{ч.у.}$ – радиус черпания экскаватора на уровне стояния, м;

B_1 – ширина заходки экскаватора, м.

Минимальные размеры ширины рабочей площадки определяются в зависимости от технических параметров оборудования из используемого технологического комплекса (экскаватор – автосамосвал, экскаватор – железнодорожный состав).

В Первомайском карьере ОАО «СевГОКа» (как и на большинстве карьеров Кривбасса) на добычных участках ориентируются на технические возможности экскаватора (радиус черпания экскаватора на уровне стояния и радиус вращения кузова) и автотранспорта (габариты автомобиля, конструктивный радиус поворота).

Производительность погрузочно-транспортного оборудования в значительной мере зависит от применяемых схем подъездов и установки автомашин под погрузку, которые должны обеспечивать безопасность выполнения работ, минимальные затраты времени на маневрирование, загрузку и обмен машин, маневрирование по возможности порожних, а не груженых машин.

В связи с многообразием условий применения и высокой маневренностью автотранспорта существует большое количество различных схем подачи самосвалов под погрузку. От направления перемещения экскаватора по мере отработки заходки движение машин на уступе может быть попутным и не попутным (встречным). В зависимости от вида маневров самосвалов в забое все их разделяют на группы [45]:

- сквозные, применяются при одностороннем не попутном движении машин и экскаватора на уступе;
- петлевые (кольцевые), применяются при встречном и одностороннем попутном движении машин и экскаватора (а, рис. 4.6);
- тупиковые (маятниковые), применяются в стесненных условиях (б, рис. 4.6);
- комбинированные [1].

Выбор схемы определяется условиями погрузки и движения автомашин в карьере, шириной рабочей площадки и экскаваторной заходки, а также способом подъезда автомашин под погрузку, который в зависимости от взаимного направления движения – машин и экскаватора. Встречный подъезд более безопасен и в большинстве случаев позволяет более рационально установить машины под погрузку.

В проектных работах (в отличие от классических понятий) при расчете минимальной ширины рабочей площадки при кольцевой схеме разворота применяется формула, в которой основополагающими параметрами выступают возможности автотранспорта:

$$Ш_{р.п.} = a + Д_{р.п.} + O_6 + b + l, \quad (4.22)$$

где a – расстояние от нижней бровки вышестоящего уступа (развала пород) до кромки проезжей части автодороги, 2,5 м; $D_{р.п.}$ – диаметр разворотной площадки, м;

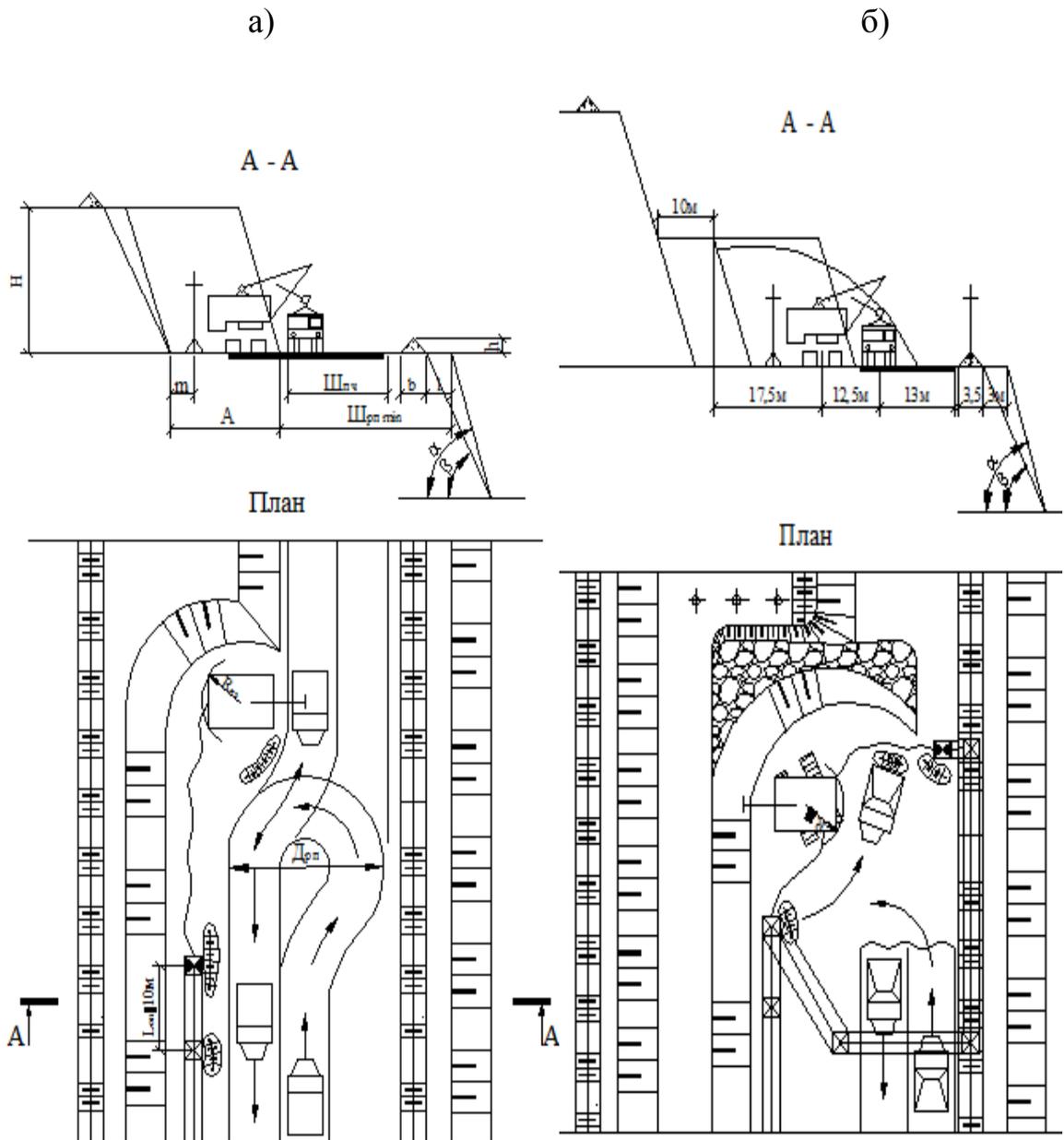


Рис. 4.6 – Распространенные схемы маневрирования автотранспорта на рабочих площадках

O_6 – ширина обочины дороги, 0,5 м;

b – ширина насыпного ограждения под насыпью, м;

l – ширина призмы обрушения, м.

Анализ паспортов ведения горных работ в карьере показал, что минимальная ширина рабочей площадки при кольцевом развороте зависит только от конструктивного радиуса карьерного автосамосвала, что отображено в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Обобщенные данные паспортов ведения горных работ по Первомайскому карьере ОАО «СевГОКа» при кольцевом развороте карьерных автосамосвалов БелАЗ – 7512

Тип экскаватора	Тип самосвала	Ширина экскаваторной заходки, м	Диаметр разворотной площадки, м	Ширина проезжей части, м	Радиус черпания на уровне стояния, м	Радиус разгрузки, м	Минимальная ширина рабочей площадки, м
ЭКГ-5АУ	БелАЗ-7512	17	32	18	9	12,6	41,5
ЭКГ-6,3УС	БелАЗ-7512	25	32	18	13,5	16,3	41,5
ЭКГ-8И	БелАЗ-7512	21,6	32	18	12	15,6	41,5
ЭКГ-10	БелАЗ-7512	22	32	18	12,6	15,4	41,5

При тупиковом развороте автосамосвалов ширина рабочей площадки (табл. 4.5) состоит из суммы двух слагаемых: ширины заходки экскаватора и ширины проезжей части. При этом маневрирование автотранспорта на разворот ограничивается шириной заходки экскаватора (см. рис. 4.6 б).

При расчете минимальной ширины рабочей площадки (ширина проезжей части) при тупиковой схеме разворота в формуле (4.23) меняется базовый параметр с диаметра разворотной площадки на ширину проезжей части:

$$Ш_{р.п.} = a + Ш_{п.ч.} + O_{\delta} + b + l, \quad (4.23)$$

где $Ш_{п.ч.}$ – ширина проезжей части, м.

Таблица 4.5 – Расчет минимальной ширины рабочей площадки при тупиковом развороте автотранспорта

Тип экскаватора	Тип самосвала	Ширина экскаваторной заходки, м	Рабочий радиус поворота самосвала, м	Ширина хозяйственной автостроительной дороги, м	Ширина проезжей части, м	Радиус разгрузки, м	Минимальная ширина рабочей площадки, м
ЭКГ – 5АУ	БелАЗ – 548	17	12	18	12	12,6	23
ЭКГ – 8И	БелАЗ – 549	22	15	22	16	16,3	27
ЭКГ – 10	БелАЗ – 7512	22	15	25	18	15,6	30
ЭКГ – 10Н	БелАЗ – 75131	25	15	25	18	15,4	30

Ширина нормальной заходки экскаватора во всех источниках литературы [1, 45, 110 и др.] определяется зависимостью от радиуса черпания экскаватора на уровне стояния. Результаты расчета ширины заходки экскаватора в зависимости от горно-геологических условий разработки месторождений сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Параметры рабочей площадки

Тип экскаватора	Радиус черпания экскаватора на уровне стояния $R_{ч.у}$, м	Ширина заходки экскаватора А, м		
		при тупиковом забое	при нормальной заходке	при узкой заходке в стесненных условиях
1	2	3	4	5
Расчетная формула		$2 R_{ч.у}$	$1,5 - 1,7 R_{ч.у}$	$0,5 - 1,0 R_{ч.у}$
ЭКГ-5АУ	9,0	18,0	13,5 – 15,3	4,5 – 9,0
КГ-5	11,2	22,4	16,8 – 19,04	5,6 – 11,2
ЭКГ-6,3ус	13,5	27,0	20,25 – 22,95	6,75 – 13,5
ЭКГ-8И	12,0	24,0	18,0 – 20,4	6,0 – 12,0
ЭКГ-10	12,6	25,2	18,9 – 21,42	6,3 – 12,6
ЭКГ-12,5	14,8	29,6	22,2 – 25,16	7,4 – 14,8

Продолжение табл.4.6

1	2	3	4	5
ЭКГ-15	15,6	31,2	23,4 – 26,52	7,8 – 15,6
ЭКГ-20А	16,0	32,0	24,0 – 27,2	8,0 – 16,0

Полученные результаты в графическом виде представлены гистограммой на рисунке 4.5, из которых видно максимальную при тупиковом забое и минимальную ширину заходки в стесненных условиях для разных типов экскаватора.

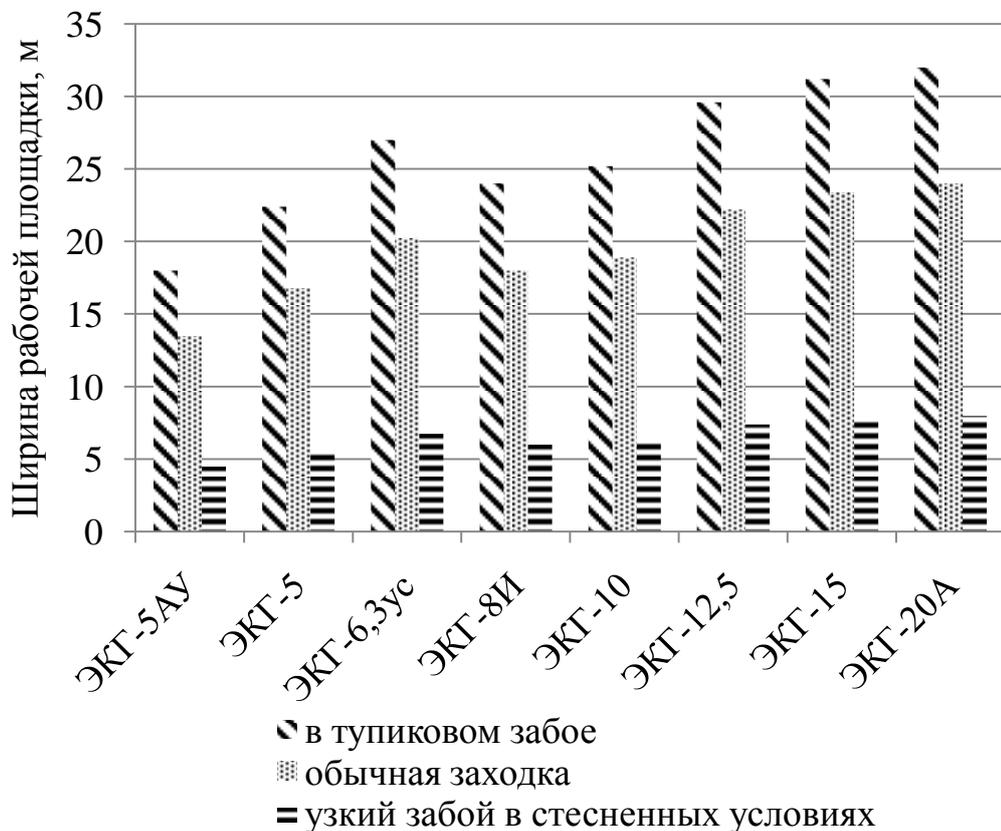


Рисунок 4.7 – Максимальная и минимальная ширина заходки для разных типов экскаватора

Учитывая тот факт, что маневрирование автосамосвала при тупиковом развороте должно осуществляться на территории заходки экскаватора, проводим сравнительный анализ схемы маневрирования (см. рис. 4.6 а, б) с шириной рабочей площадки в различных условиях (см. табл. 4.4). Согласно тех-

ническим характеристикам у автосамосвала БелАЗ – 75131 рабочий радиус – 15 м, конструктивный – 13 м., следовательно, в узких забоях в стесненных условиях проблема маневрирования остается актуальным вопросом, так как ширина заходки меньше рабочего радиуса автосамосвала.

Таким образом, в расчете минимальной ширины рабочей площадки при кольцевом развороте автосамосвала базовым параметров выступает конструктивный радиус поворота, при тупиковом развороте – габариты машины и в стесненных условиях - радиус поворота автосамосвала.

При применении к автосамосвалу механизма изменения центра масс радиус поворота уменьшается до 10 м, что в свою очередь существенно влияет на ширину рабочей площадки. Применительно к Первомайскому карьере ОАО «СевГОКа» были выполнены проработки применения карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции с МЦМ для расчета параметров рабочей площадки по двум схемам маневрирования автотранспорта (рис. 4.7).

Таким образом, можно сделать вывод, что на глубоких горизонтах карьеров в стесненных условиях при применении тупиковой или кольцевой схемах разворота автосамосвала ширина рабочей площадки может быть уменьшена за счет применения усовершенствованных конструкций карьерных автосамосвалов типа БелАЗ с МЦМ. Как показано из рисунка 4.7 применение карьерных автосамосвалов усовершенствованной конструкции дает возможность при уменьшении межосевого расстояния уменьшить радиус поворота автосамосвала до 10 м, что позволяет уменьшить ширину рабочей площадки в стесненных условиях при тупиковом развороте до 7 % и при кольцевом – 14,5 %.

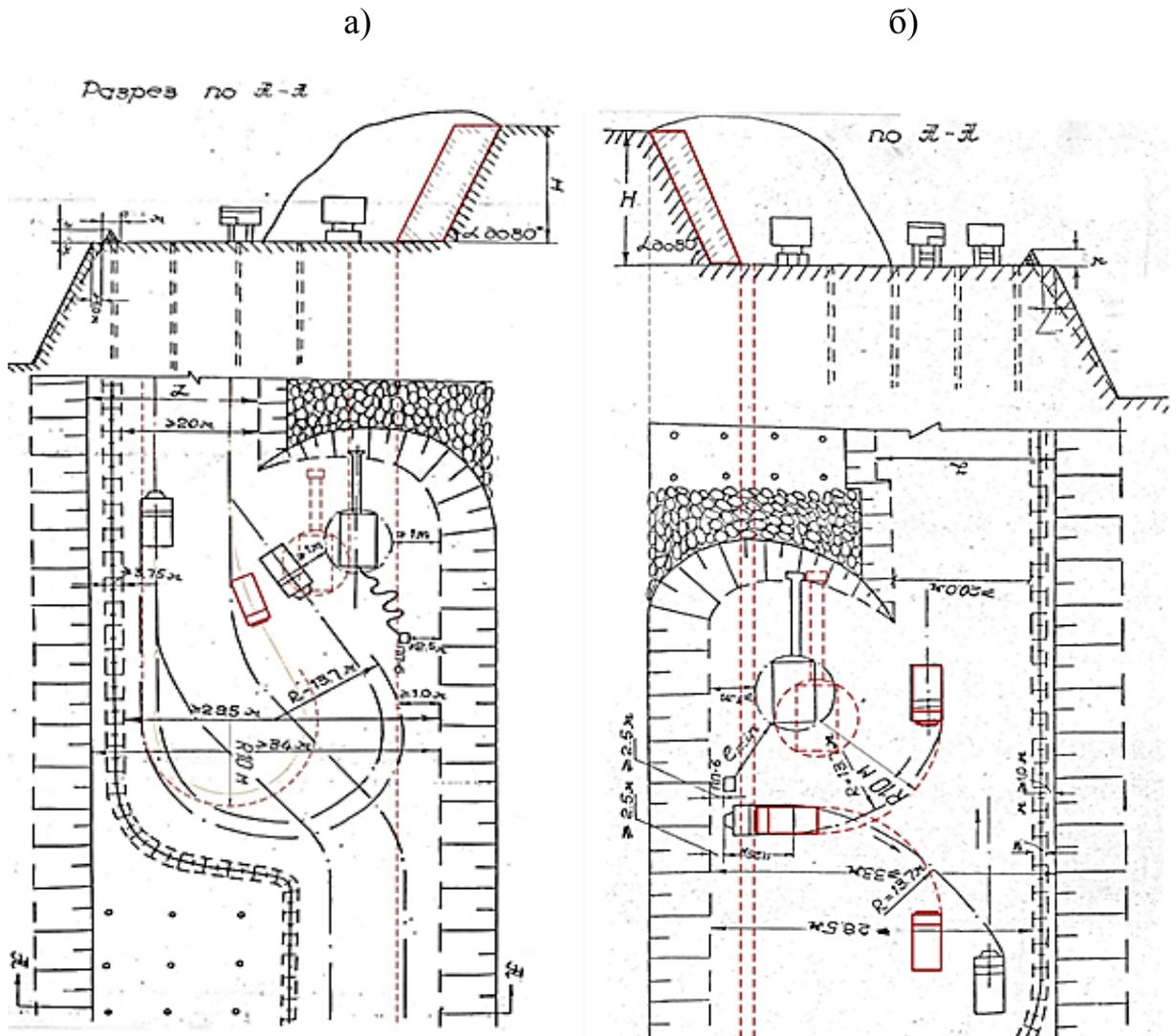


Рисунок 4.7 – Паспорта ведения горных работ по проектным расчетам и с применением усовершенствованной конструкции автосамосвалов при схемах маневрирования а) кольцевой, б) тупиковой

4.4 Технико-экономическое обоснование уменьшения параметров транспортных коммуникаций на глубоких горизонтах карьера ОАО «Лебединский ГОК»

Разрабатываемые месторождения железных руд имеют сложную форму, горные работы развиваются неравномерно, в рабочей зоне постоянно меняется число вскрывающих выработок, дорог и их участков. Дороги состоят из участков, различающихся положением и характеристиками: уклоном, шириной, ра-

диусом закруглений и типом дорожной одежды, что характерно для отдельных зон карьерного поля.

Транспортные коммуникации обеспечивают перемещение грузов в карьере, однако они консервируют борт, тормозят развитие горных работ, приводят к выколаживанию борта карьера. С целью рационализации внутрикарьерного пространства ОАО «Лебединский ГОК» выполнены теоретические исследования оптимизации транспортных коммуникаций.

Ширина проезжей части автомобильных дорог зависит в первую очередь от количества полос и их минимальной ширины. Так при маятниковой (тупиковой) схеме движения технологические постоянные и временные дороги, как правило, имеют двухполосное строение; при сквозной или кольцевой схемах – однополосное [45].

При проектировании транспортных коммуникаций и рассмотрении рационального использования внутрикарьерного пространства особую актуальность занимают площадки для разворота автомобилей и петлевые съезды (криволинейные участки дорог, на которых направление движения автомобиля меняется на противоположное). Проблема существования площадок для разворота автомобилей и петлевых съездов заключается в консервации большей части борта карьера в плане и соответственно уменьшении части вскрытых запасов. Площадка для размещения петли поворота дороги имеет максимальную ширину в месте примыкания автомобильных дорог (рис. 4.8).

Площадка для размещения петли поворота дороги - это криволинейный участок автодороги состоит из двух проезжих частей (одно- или двухполосных) и криволинейный участок, который определяется исходя из конструктивных особенностей применяемых самосвалов на этом участке дороги. Ширина площадки для размещения петли поворота дороги определяется выражением:

$$Ш_{развл.} = 2Ш_a + Ш_{разв}, \quad (4.24)$$

где $Ш_{разв.пл.}$ – ширина площадки для размещения петли поворота дороги, м;
 $Ш_a$ – ширина проезжей части автодороги, м;
 $Ш_{разв.}$ – ширина криволинейного участка, определяемая радиусом разворота автосамосвала, м.

Согласно нормативным документам [1] «в особенно ограниченных условиях на внутрикарьерных и отвальных дорогах минимальный радиус горизонтальной кривой допускается принимать не меньше 2-х конструктивных радиусов поворота для одиночных карьерных автомобилей и не меньше 3 – для тягачей с полуприцепами».

$$Ш_{разв} = 2R_0, \quad (4.25)$$

где R_0 – конструктивный радиус разворота автосамосвала, м.

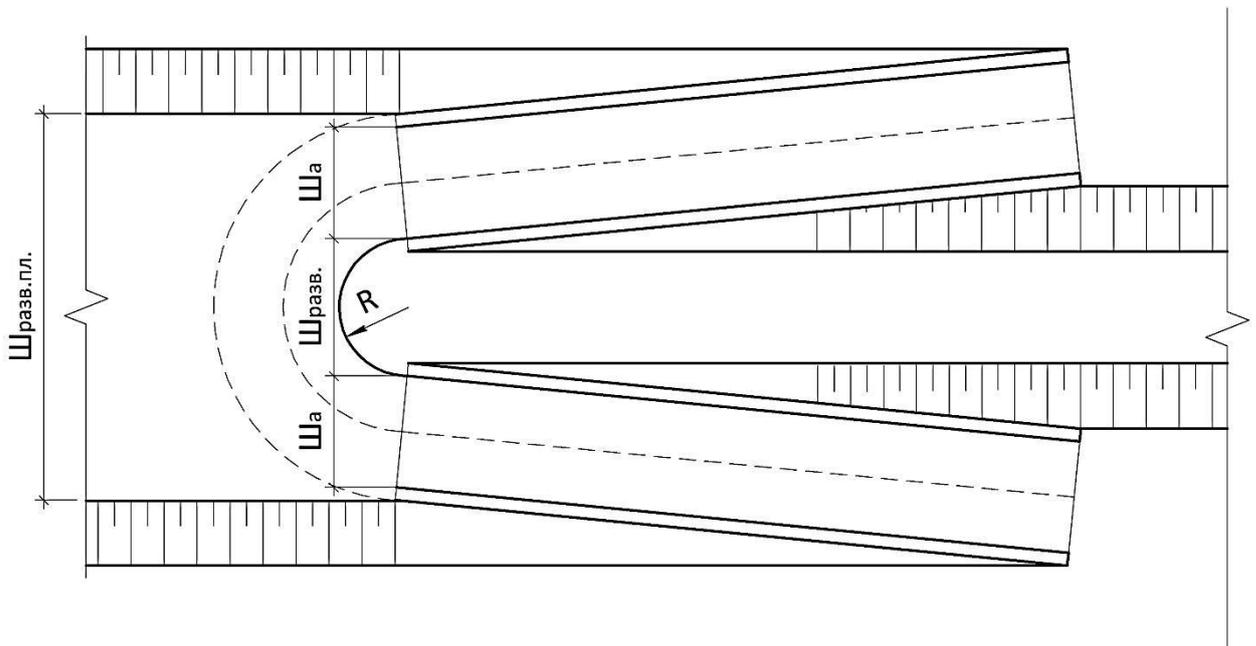


Рисунок 4.8 – Схема внутрикарьерной площадки для размещения петли поворота дороги

Таким образом, для решения задачи уменьшения ширины площадки для размещения петлевого съезда дороги рассмотрим возможность уменьшения ее основных параметров: ширины проезжей части и криволинейного участка.

4.4.1 Исследование возможности уменьшения ширины проезжей части автомобильных дорог

Ширина автомобильных дорог в карьере определяется количеством полос (одно- или двухполосные), предохранительными бермами и сооружениями. Предохранительные бермы в свою очередь зависят от скорости движения автосамосвалов v , угла естественного откоса уступа β , угла откоса уступа α и параметров предохранительного вала и канавки (рис. 4.9).

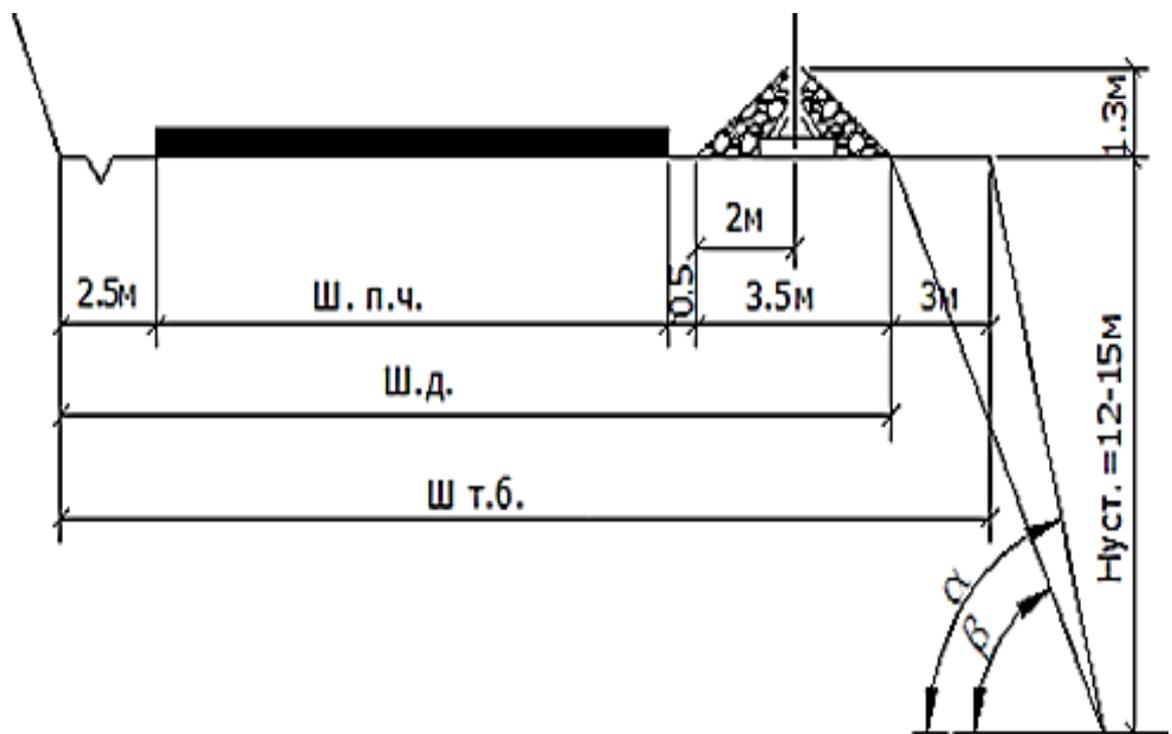


Рисунок 4.9 - Параметры карьерной автодороги по скальным породам

Ширина проезжей части автодороги $Ш_a$, определяется несколькими способами (см. разд. 1). В нормативных документах ширина проезжей части автомобильных дорог регламентируется в зависимости от категории дороги, глубины карьера и габаритов автомобиля (ширины по зеркалам). Так согласно [1, табл. 7.18] для БелАЗ – 75131 грузоподъемностью 130 т, у которого ширина по зеркалам 7000 мм, по кузову 6400 мм, ширина проезжей части должна быть не меньше величин, указанных в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Ширина проезжей части при одно- и двухполосном движении автомобилей

Параметры поперечного профиля	Значения параметров для дорог категории											
	I-к			II-к			III-к			IV-к		
	при условии расположения автодороги на глубине карьера, м											
	до 50	50 – 100	100 – 200	более 200	до 50	50 – 100	100 – 200	более 200	до 50	50 – 100	более 100	любая глубина
Количество полос движения	2	2	2	2	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
Ширина проезжей части, м для автомобиля шириной, 6,4 м	25,0	22,5	20,0	19,0	24,0/9,0	22,0/9,0	19,5/9,0	18,5/9,0	23,0/8,5	20,0/8,5	18,0/8,5	17,0/8,5
7,8	31	29	25	24	30/10,5	28/10,5	24,5/10,5	23,5/10,5	29/10	26/10	23/10	21,5/10

В зависимости от глубины разработки допустимая ширина проезжей части для технологических дорог II-к отображена на рис. 4.10.

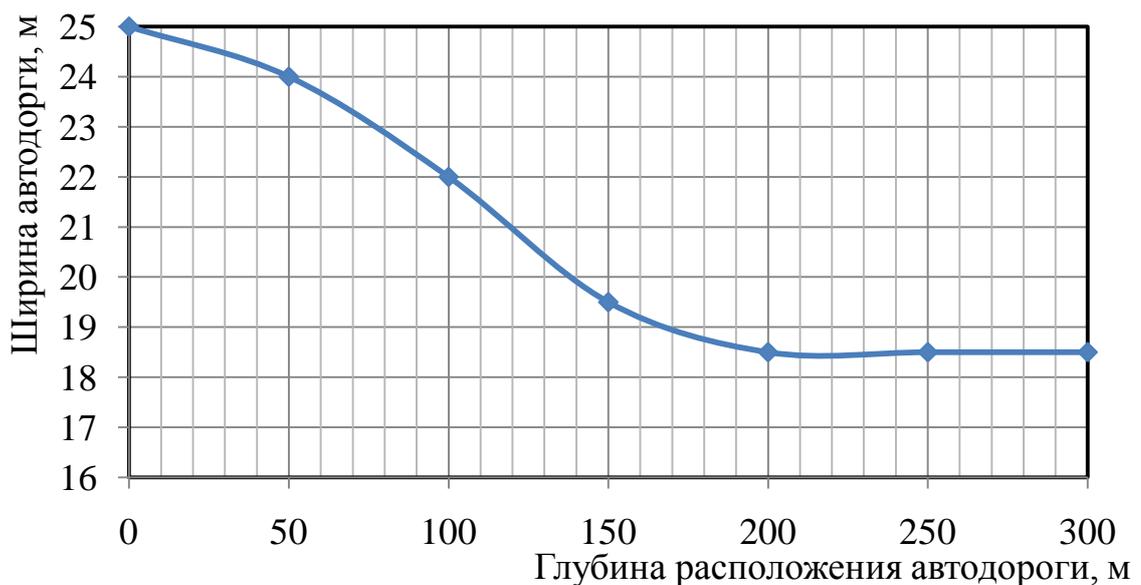


Рисунок 4.10 – Ширина проезжей части в зависимости от глубины расположения автодороги

Технологические автомобильные дороги в зависимости от назначения и грузонапряженности делятся на категории с I-к по IV-к. Для рассматриваемых условий принимаем значения для II-к с грузонапряженностью от 5 до 15 млн. т. руды в год в грузовом направлении. Для глубоких горизонтов карьера минимальная ширина проезжей части двух полосной автодороги составляет 18,5 м.

В таблице 4.6 приведены расчетные данные по формулам Ржевского В.В., Дриженко А.Ю., Потапова М.Г. и из нормативных документов для модели БелАЗ – 75131.

Таблица 4.6 – Расчетные данные ширины проезжей части автодороги

Метод определения	Расчетная формула	Ширина проезжей части автодороги, м
Ржевский В.В.	$Ш_a = 2(a + y) + x,$ $где y = 0,5;$ $x = 0,5 + 0,005v$	15,52 – 15,75
Дриженко А.Ю.	$Ш_a = 2(a + y) + x,$ $где x = 2y;$ $y = 0,5 + 0,05v$	16,8 – 26,0
Потапов М.Г.	$Ш_a = B = 2ak_v + \Delta B_{Г}$	26,2 – 30,4
Нормы технологического проектирования	25,0-18,0 в зависимости от глубины расположения	18,5 для глубоких горизонтов

*Примечание. В расчетных формулах параметры обозначают: a – ширина автомобиля, м; y – ширина обочин, м; x – ширина между кузовами встречных автомобилей, м; k_v – коэффициент, учитывающий суммарную скорость встречных автомашин, $\Delta B_{Г}$ – величина, учитывающая габариты, м.

Изменения ширины автодороги от скорости движения автосамосвала приведены на рис. 4.11 по каждому рассматриваемому методу, которые показывают прямо пропорциональную зависимость.

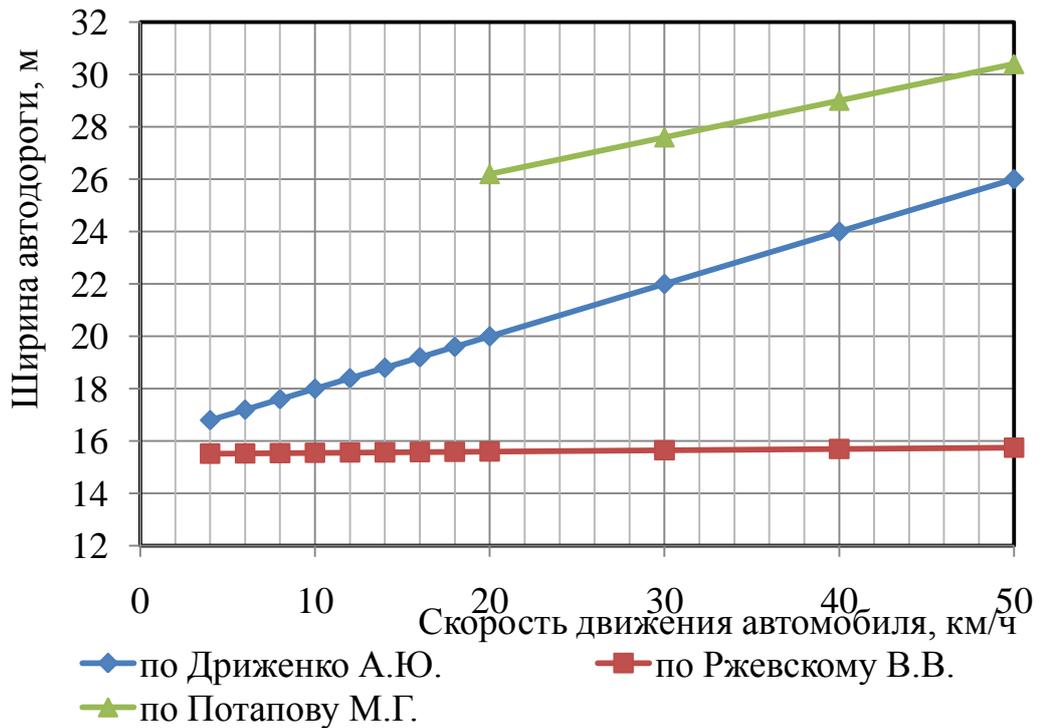


Рисунок 4.11 – Изменение ширины автодороги от скорости движения автосамосвала по различным методам их расчета

Исследуемая в работе ширина автодороги относится к местам примыкания к криволинейным участкам: круговым участкам и серпантинам (см. рис. 4.12). На этих участках дороги скорость автосамосвала снижается. Максимально допустимая скорость на криволинейных участках рассчитывается по формуле [1]:

$$V = \sqrt{127R(\gamma_2 \varphi_2 + i)}, \quad (4.26)$$

где R – радиус кривой в плане, м;

V – расчетная скорость движения, км/ч;

$\gamma_2 \varphi_2$ – используемая часть коэффициента поперечного сцепления, принятая 0,18 для скорости до 20 км/ч и 0,15 – для скорости 70 км/ч (промежуточные данные вычисляются интерполяцией);

i – поперечный уклон дорожного покрытия, част. един.

Безопасная скорость движения (м/с) по криволинейному участку по формуле В.В. Ржевского [45] определяется следующим образом:

$$V_{без} = \sqrt{g \cdot R \cdot (\psi_{ск} \pm i)}, \quad (4.27)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\psi_{ск}$ – коэффициент бокового скольжения (сцепления) колес;

i_n – поперечный уклон проезжей части дороги.

Аналитические исследования максимально допустимой и безопасной скорости движения автосамосвала показаны на графике рис. 4.11. В нормативных документах [1] ограничение скорости движения на криволинейных участках с радиусом поворота 7-15 м дается в интервале 13-18 км/ч.

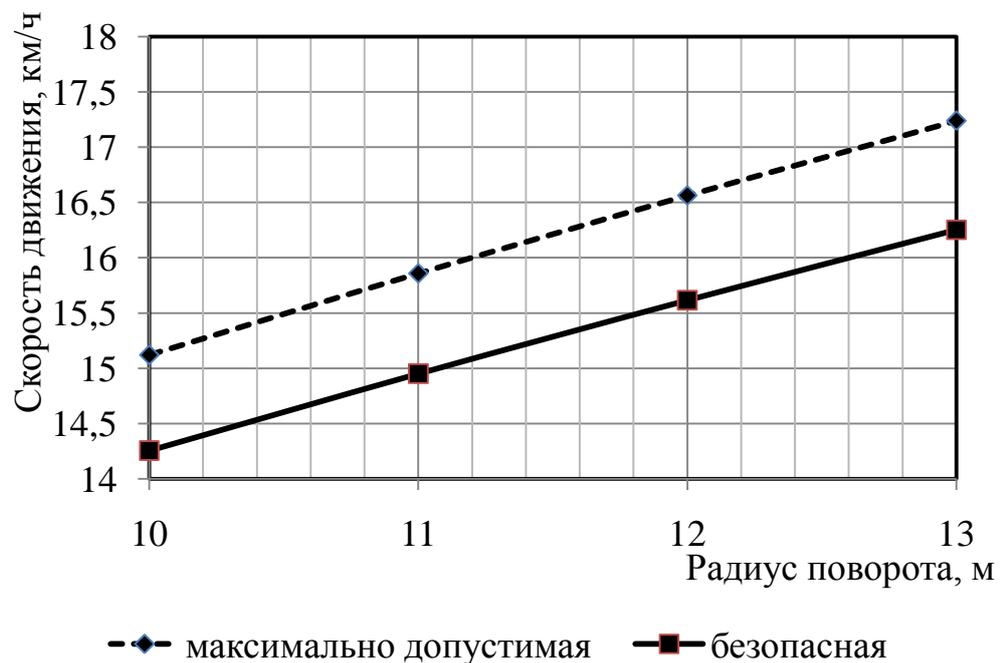


Рисунок 4.12 – Зависимость скорости движения от радиуса поворота автосамосвала

Таким образом, при изменении радиуса поворота автосамосвала от конструктивного заводского 13 м до 10 м с конструкцией МЦМ выявлено, что скорость движения автосамосвала на криволинейных участках снижается (см.

рис. 4.12). Исследования ширины автодороги под БелАЗ – 75131 показали, что оптимальные значения 18 – 18,5 м соответствуют нормативным документам (см. табл. 4.5) так как соответствуют максимально допустимой и безопасной скорости 14 – 18 км/ч на криволинейных участках.

4.4.2 Исследование возможности уменьшения ширины криволинейного участка автомобильных дорог

При петлевом съезде отдельные участки соединяются круговыми кривыми и серпантинами. Параметры этих участков зависят от габаритов и радиуса поворота автотранспорта, радиуса поворота участка.

Согласно исследованиям Михайлова [111] длина траектории движения автосамосвала или круговой кривой определяется по формуле:

$$S_{кр} = R_c (\pi - a),$$

где R_c – радиус поворота круговой кривой, м;

a – угол поворота между прямыми, градус.

Длина серпантины состоит из двух подъездных криволинейных участков, двух прямых соединительных и кругового участка [111]:

$$S_c = \frac{R_c \cdot \pi \cdot a_c}{180} + \frac{R_g \cdot 2\pi \cdot \beta}{180} + 2l,$$

где R_g – радиус подъездных криволинейных участков, м;

β – угол поворота подъездного криволинейного участка, градус;

l – длина соединительных прямых, м.

У Ржевского В.В. аналогичная формула, только в знаменателе делитель равен 90 [45], более сложный расчет в нормативных документах [1], но идея

расчета та же. Анализ перечисленных методов и методики показал, что параметры криволинейного участка зависят главным образом от радиуса поворота автодороги, который зависит от конструктивного радиуса поворота автосамосвала. Таким образом, учитывая формулу (4.7) параметры площадки для размещения петли поворота дороги можно уменьшить только за счет уменьшения угла поворота трассы при применении автосамосвалов с конструкцией МЦМ. Расчетные данные приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет ширины площадки для размещения петли поворота дороги

Ширина проезжей части, м	Водоотводящие сооружения, м	Ограждающий вал, м	Ширина бермы безопасности, м	Радиус разворота автосамосвала, м	Ширина круговой кривой	Ширина площадки для размещения петли поворота, м
18,5	2,5	4	3	13	26	72,5
18,5	2,5	4	3	12	24	70,5
18,5	2,5	4	3	11	22	68,5
18,5	2,5	4	3	10	20	66,5

Анализ расчета ширины площадки для размещения петли поворота дороги показал возможность ее уменьшения на 6 м, что составляет 8,2 %. То есть уменьшение параметров автомобильных дорог позволяет сформировать предложения по рациональному использованию внутрикарьерного пространства за счет перепланирования транспортных коммуникаций автотранспорта, уменьшения целиков под ними и вскрытии балансовых запасов из целиков, увеличения угла наклона борта. Это дает возможность рассчитать ожидаемый экономический эффект от использования автосамосвалов, оборудованных механизмом МЦМ.

Полученные результаты уменьшения ширины площадки для размещения петли поворота дороги были рассмотрены для условий Лебединского ГОКа.

4.4.3 Формирование автомобильных трасс с учетом глубоких горизонтов в карьере ОАО «Лебединский ГОК»

По состоянию горных работ на 01.01.2013 г. карьер ОАО «Лебединский ГОК» вскрыт до горизонта минус 213 м. Глубина карьера от поверхности составляет 421 м, длина по поверхности – 4447 м, ширина – 3185 м, площадь карьера – 1208,8 га. Производственная мощность составляет 48 млн.т руды в год. Это крупный карьер, в котором для транспортировки горной массы применяется автомобильный, железнодорожный и гидравлический транспорт. Автомобильный транспорт обслуживает полностью нижнюю и среднюю по высоте карьера зоны. Технологические постоянные автомобильные дороги занимают северо-восточный и юго-восточный борт (см. рис. 4.13).

Для детального изучения возможности уменьшения целиков под транспортными коммуникациями был выбран участок на северо-востоке карьера, который содержит 6 петлевых съездов. Фрагмент плана горных работ представлена на рис. 4.13.

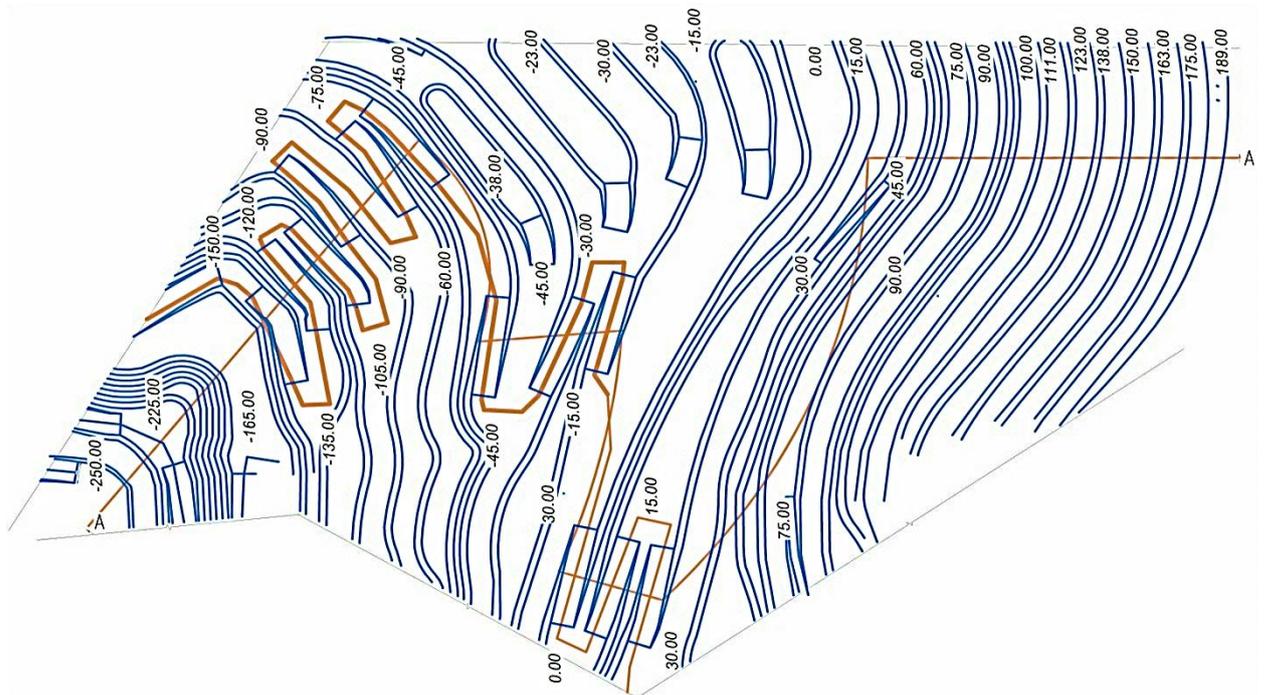


Рисунок 4.13 – Фрагмент плана горных работ северо-восточного борта карьера ОАО «Лебединский ГОК»

Теоретические исследования показали, что уменьшение параметров разворотной площадки возможно только за счет уменьшения криволинейного участка, который определяется конструктивным радиусом автосамосвала. Соответственно применение автосамосвалов с механизмом изменения положения центра масс и межосевого расстояния позволяет уменьшить ширину одной площадки с 72,5 до 66 м, а по 6-ти петлевым съездам в плане высвобождается 36 м (рис. 4.14).

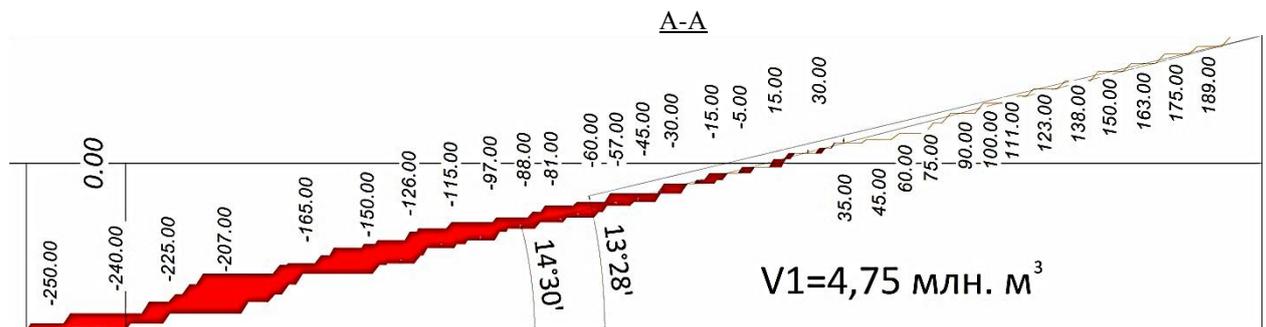


Рисунок 4.14 – Разрез по северо-восточному борту карьера
ОАО «Лебединский ГОК»

На разрезе (см. рис. 4.14) совмещены существующее положение горных работ (верхняя ломаная линия) и рекомендуемое положение при уменьшении участков петлевых съездов (нижняя линия). Выполнен расчет объема горной массы в пределах северо-восточного борта, который подлежит выемке из целиков под транспортными коммуникациями. Участок, который анализировался имеет геометрические параметры: протяженность 950 м по верхнему горизонту +30 м, 100 м по нижнему горизонту –250 м и по высоте поуступно от горизонта +30 м и до дна карьера –250 м. Расчет показал, что можно извлечь без дополнительного разгона борта 4,75 млн.м³ горной массы, которые находятся в целиках. В тоже время при существующий технологии ведения горных работ для подвигания дна карьера в плане на 36 м необходимо выполнить выемку пород объемом 14,25 млн. м³, что видно из разреза на рис. 4.15.

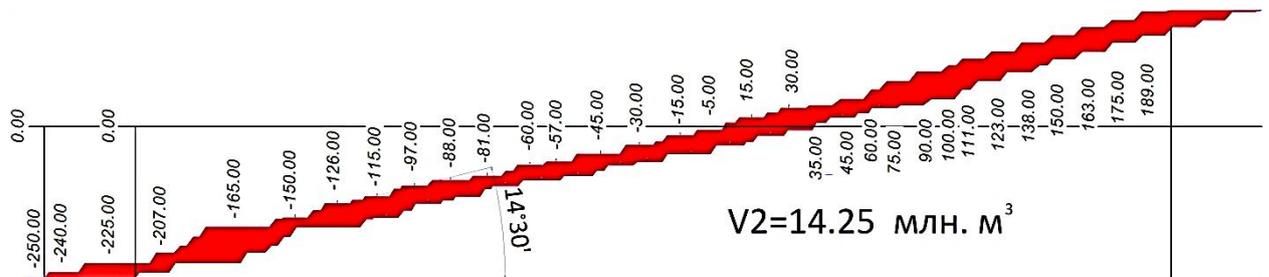


Рисунок 4.15 – Извлечение объемов горной массы при существующих технологических схемах карьера ОАО «Лебединский ГОК»

Анализ рабочей документации проекта ГИ «ГИ «Кривбаспроект» по развитию горных работ карьера ОАО «Лебединский ГОК» до 2035 года позволил выполнить горно-геометрический анализ геологического строения месторождения в северо-восточном направлении карьера. Планы развития горных работ показали, что в заданном направлении подвигание горных работ будет производиться в ближайшие 10 – 15 лет.

Учитывая горно-геологическое строение месторождения, определяем объем руды в целике под грузотранспортными коммуникациями, который позволит рассчитать ожидаемый экономический эффект применения рациональных параметров криволинейных участков трасс. Анализ геологической документации и планов развития горных работ на 15 лет показал, что в горной массе, подлежащей выемке соотношение руды и вскрыши 1:1. Железные руды располагаются ниже горизонта 90 м, а горная масса с горизонта 90 м и до горизонта 189 м относится к объему вскрышных пород.

Объем руды в горной массе, извлекаемой из целика под транспортными коммуникациями, составляет:

$$Q_p = 4,75 \cdot 3,41 \cdot 0,5 = 8,0999 \text{ млн.т.}$$

Себестоимость добычи руды для условий ОАО "ЛГОКа" рассчитана специалистами ГП "ГПИ "Кривбаспроект" и составляет на 01.03.2014 г.

221 руб/т (согласно среднего курса валют 0,2527 на 01.05.2014 г. это составляет 55,85 грн/т).

Основные технические характеристики автосамосвала, горно-геологические параметры добычных работ и технико-экономические показатели расчета сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 - Исходные данные и результаты расчета экономического эффекта от применения модернизированных автосамосвалов на петлевых съездах карьера ОАО «Лебединский ГОК»

Показатели	Величины
1	2
Производственная мощность карьера, млн. т.	48,0 – 48,5
Глубина карьера, м	421,0
Параметры рассматриваемого участка северо-восточного борта карьера:	
- нижняя отметка горизонта,	-250
- верхняя отметка горизонта,	+30
- средняя длина вдоль уступа (фронт), м	950
Количество петлевых съездов	6
Ширина криволинейного участка по проекту, м	72,5
Конструктивный радиус автосамосвала, м	13
Ширина криволинейного участка при применении модернизированного автосамосвала, м	66,5
Минимальное межкосовое расстояние карьерного автосамосвала с МЦМ, м	10
Объем высвобождаемой горной массы, млн.м ³	4,75
Плотность руды, м ³ /т.	3,41
Объем руды в горной массе, извлекаемой из целика под транспортными коммуникациями, млн. т.	8,099
Себестоимость добычи руды, руб/т	221
Средний курс валют составляет на 01.03.2014	0,2527
Себестоимость добычи руды, грн/т	55,85
Экономический эффект внедрения, млн. грн.	452,3

Анализ геологической документации по северо-восточному борту карьера ОАО «Лебединский ГОК» и объемов горной массы, извлекаемой из целика

ков под транспортными коммуникациями (см. рис. 4.12), показал, что половина горной массы состоит из кондиционных руд, что позволило обосновать ожидаемый экономический эффект. Кроме того, следует отметить эффективность рекомендуемых параметров транспортных коммуникаций поскольку позволяет вскрыть дно карьера на величину 36 м в плане (6 петлевых съездов уменьшаются на 6 м), что соответствует полноценной ширине рабочей площадки.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

Применение на автосамосвалах конструкции изменения межосевого расстояния базы при транспортировании горной массы в глубоких железорудных карьерах позволяет: увеличить уклоны автомобильных дорог, уменьшить радиус криволинейных участков автомобильных дорог, уменьшить ширину рабочих площадок.

9. На глубоких горизонтах карьера размеры рабочей площадки могут быть уменьшены за счет применения усовершенствованных конструкций карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией с МЦМ. Выполненный комплекс исследований по рационализации внутрикарьерного пространства Первомайского карьера ОАО «СевГОКа» показал, что при изменении межосевого расстояния радиус поворота автосамосвала уменьшается на 23,1 %, что позволяет уменьшить ширину рабочей площадки в стесненных условиях при тупиковом развороте на 3 м, что составляет 7 % и при кольцевом на 6 м, что составляет 14,5 % от ее минимального значения.

10. Разработана методика технико-экономического обоснования оптимальных уклонов автодорог с учетом применения МЦМ на автотранспорте, в отличие от традиционных, включающая:

– учет изменения капитальных и эксплуатационных затрат на автотранспорт в зависимости от величины уклона автодорог в динамике развития карьера;

– учет исключения дополнительного разноса бортов карьера в зависимости от размещения транспортных коммуникаций.

11. Ожидаемый экономический эффект от увеличения продольного уклона внутрикарьерных дорог определяется уменьшением объема вскрышных работ, уменьшением расстоянием перевозок автотранспортом, а также экономическими показателями – себестоимостью транспортирования горной массы автосамосвалами и себестоимостью вскрыши. Предложены аналитические зависимости для предварительной оценки эффективности перехода на повышенные уклоны автодорог.

12. Ожидаемый расчетный экономический эффект при использовании автосамосвалов, оборудованных МЦМ, возникает при уменьшении размеров площадок для размещения петли поворота, что позволяет сформировать предложения по рациональному использованию внутрикарьерного пространства за счет перепланирования транспортных коммуникаций автотранспорта, увеличения угла наклона борта, уменьшения объемов вскрышных работ и вскрытии запасов из целиков.

13. Экономические расчеты применения в карьере ОАО «Полтавский ГОК» усовершенствованных конструкций автосамосвалов позволили обосновать увеличение продольного уклона автодорог на 20 – 25% от имеющегося, что составляет для постоянных технологических дорог до 125%, для временных сроком до 1 года – до 200%. Расчетный экономический эффект от применения повышенных уклонов автодорог для постоянных технологических дорог составляет 49,2 млн. грн., для временных – 24,7 млн. грн.

14. Технико-экономическая оценка уменьшения площадок для размещения петли поворота автомобильных дорог в условиях карьера ОАО «Лебединский ГОК» показала возможность частично извлечь из законсервированных под транспортными коммуникациями запасов кондиционных железных руд объеме 8,099 млн. т., ожидаемый расчетный экономический эффект составляет в размере 542,3 млн. грн., за счет повышения эффективности систем разработки глубоких железорудных карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научная задача, которая заключается в установлении взаимосвязи параметров систем разработки и эксплуатационно-технических параметров автомобильного транспорта, используемого при отработке глубоких горизонтов железорудных карьеров. Установленные зависимости послужили основой для разработки нового технического решения, позволяющего взаимно адаптировать параметры систем разработки карьеров и эксплуатационно-техническим параметрам карьерных автосамосвалов на глубоких горизонтах. В конечном итоге это позволило обосновать рациональные параметры систем разработки глубоких карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции, обеспечивающие повышение эффективности систем разработки.

Основные научные и практические результаты состоят в следующем.

1. Установлено, что взаимосвязь параметров систем разработки с эксплуатационно-техническими характеристиками автосамосвалов представляется в виде сложной функции, частные функции которой, по отдельным аргументам, представляются как гиперболическими, так и параболическими зависимостями, что позволило составить объективную оценку наибольших зависимостей аргументов и выбрать приоритетное направление их взаимной адаптации.

2. На основе проведенного анализа параметров, определяющих величину углов откоса бортов карьера, обоснован механизм влияния эксплуатационно-технических параметров автосамосвалов (грузоподъемность, радиус поворота, габариты, тяговые характеристики, скорость движения) на параметры системы разработки и горнотранспортной системы (ширину рабочей площадки и перегрузочного пункта; продольный уклон внутрикарьерных автодорог и их длину; угол откоса уступа; глубину карьера и высоту подъема горной массы), ус-

тановлены относительные степени влияния каждого из перечисленных параметров, что позволило установить наиболее значимые из них.

3. На основе интегрального метода оценки влияния эксплуатационно-технических характеристик автомобильного транспорта на параметры систем разработки глубоких карьеров установлено, что сокращение объемов вскрышных работ и увеличение объемов вскрытых запасов на глубоких горизонтах достигается при увеличении продольного уклона автодорог и уменьшении радиуса разворота автосамосвала, что возможно только путем технического усовершенствования карьерных автосамосвалов.

4. На основании проведенного анализа распределения реакции дороги на передние и задние колеса при движении автосамосвала на подъем и спуск с грузом и без него установлено, что сила тяги и радиус разворота автосамосвала зависят от межосевого расстояния и положения центра масс автосамосвала, на основании чего был выполнен комплекс исследований по разработке способа изменения межосевого расстояния.

5. Разработан способ изменения положения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ) автосамосвала, который позволяет повысить преодолеваемый продольный уклон и сократить радиус разворота автосамосвала. Результативность предложенного способа проверена математическим моделированием (в программном комплексе «Универсальный механизм») с учетом обеспечения безопасности движения и прочности конструкции, которое показало следующие результаты:

– увеличение межосевого расстояния автосамосвала типа БелАЗ – 75131 позволяет увеличить силу тяги до 25 % и соответственно преодолеваемый продольный уклон, а при движении по дороге с уклоном 70‰ значительно снижается потребляемая сила тяги, что позволит более экономично расходовать дизельное топливо;

– уменьшение межосевого расстояния автосамосвала на величину Δ , равную 0,9 м, позволяет уменьшить радиус его поворота на 3 м.

6. Установлено, что увеличение продольного уклона внутрикарьерных автодорог со 120 до 200‰ при применении автосамосвалов с МЦМ позволит увеличить высоту подъема горной массы на 200 м или сократить расстояние транспортирования до 40 %.

7. Установлено, что уменьшение количества петлевых съездов (за счет увеличения уклона автодорог) и сокращение радиуса поворота автосамосвала позволяет увеличить угол откоса борта карьера и с сокращенным объемом вскрышных работ частично вскрыть законсервированные под транспортными коммуникациями запасы.

Таким образом, применение автосамосвалов с МЦМ по сравнению с автосамосвалами традиционной конструкции имеет ряд преимуществ, проявляющихся в уменьшении параметров внутрикарьерных транспортных коммуникаций и в результате в увеличении возможного угла наклона борта карьера, на котором они расположены, с минимальным объемом вскрышных работ.

8. Применение на автосамосвалах конструкции изменения межосевого расстояния базы при транспортировании горной массы в глубоких железорудных карьерах позволяет: увеличить уклоны автомобильных дорог, уменьшить радиус криволинейных участков автомобильных дорог, уменьшить ширину рабочих площадок.

9. На глубоких горизонтах карьера размеры рабочей площадки могут быть уменьшены за счет применения усовершенствованных конструкций карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией с МЦМ. Выполненный комплекс исследований по рационализации внутрикарьерного пространства Первомайского карьера ОАО «СевГОКа» показал, что при изменении межосевого расстояния радиус поворота автосамосвала уменьшается на 23,1 %, что позволяет уменьшить ширину рабочей площадки в стесненных условиях при тупиковом развороте на 3 м, что составляет 7 % и при кольцевом на 6 м, что составляет 14,5 % от ее минимального значения.

10. Разработана методика технико-экономического обоснования оптимальных уклонов автодорог с учетом применения МЦМ на автотранспорте, в отличие от традиционных, включающая:

– учет изменения капитальных и эксплуатационных затрат на автотранспорт в зависимости от величины уклона автодорог в динамике развития карьера;

– учет исключения дополнительного разноса бортов карьера в зависимости от размещения транспортных коммуникаций.

11. Ожидаемый экономический эффект от увеличения продольного уклона внутрикарьерных дорог определяется уменьшением объема вскрышных работ, уменьшением расстоянием перевозок автотранспортом, а также экономическими показателями – себестоимостью транспортирования горной массы автосамосвалами и себестоимостью вскрыши. Предложены аналитические зависимости для предварительной оценки эффективности перехода на повышенные уклоны автодорог.

12. Ожидаемый расчетный экономический эффект при использовании автосамосвалов, оборудованных МЦМ, возникает при уменьшении размеров площадок для размещения петли поворота, что позволяет сформировать предложения по рациональному использованию внутрикарьерного пространства за счет перепланирования транспортных коммуникаций автотранспорта, увеличения угла наклона борта, уменьшения объемов вскрышных работ и вскрытия запасов из целиков.

13. Экономические расчеты применения в карьере ОАО «Полтавский ГОК» усовершенствованных конструкций автосамосвалов позволили обосновать увеличение продольного уклона автодорог на 20 – 25% от имеющегося, что составляет для постоянных технологических дорог до 125%, для временных сроком до 1 года – до 200%. Расчетный экономический эффект от применения повышенных уклонов автодорог для постоянных технологических дорог составляет 49,2 млн. грн., для временных – 24,7 млн. грн.

14. Техничко-экономическая оценка уменьшения площадок для размещения петли поворота автомобильных дорог в условиях карьера ОАО «Лебединский ГОК» показала возможность частично извлечь из законсервированных под транспортными коммуникациями запасов кондиционных железных руд объеме 8,099 млн. т., ожидаемый расчетный экономический эффект составляет в размере 542,3 млн. грн., за счет повышения эффективности систем разработки глубоких железорудных карьеров при применении автосамосвалов усовершенствованной конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СОУ – Н МПП 73.020 – 078 – 2 : 2008 Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина II. Т.1 Відкриті гірничі роботи. – Київ, Міністерство промислової політики України, 2008. – 714 с.
2. Палазян С. Системы управления горнотранспортным комплексом // Промышленные страницы Сибири. Добывающая промышленность. - 2014. – Вып. 3. – С. 26 – 28.
3. СОУ – Н МПП 73.020 – 078 – 1 : 2007 Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина I. Гірничі роботи. Ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко-економічна оцінка та показники. – Київ, Міністерство промислової політики України, 2007.
4. НПАОП 0.00 – 1.33 – 94 Правила безпеки при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом.
5. НПАОП 0.00 – 1.32 – 97 Правила безпеки при проектуванні та експлуатації об'єктів циклічно-потокової технології відкритих гірничих робіт.
6. Единая методика проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки. – Л.: Гипроруда, 1986. – 264 с.
7. Интенсификация горных работ в карьерах / А.И. Арсентьев, А.А. Ещенко, Б.К. Оводенко [и др.]. – М.: Недра, 1965. – 277 с.
8. Исследование интенсивности и границ открытой разработки Карагандинского месторождения магнезитов / В.Г. Красовский, В.Г. Драчев, Е.В. Кочешков [и др.] // ИГД МЧМ СССР: Сборник трудов. – Свердловск, 1983.- Вып. 72. – С. 44-49.
9. Кашпар Л.Н. Анализ математической модели определения темпа углубления горных работ / Л.Н. Кашпар, И.В. Деревяшкин // Научные проблемы

горного производства: Сб. статей Моск. гос. горн. ун-та. – Изд-во МГГУ, 2000. – С. 259-264.

10. Шеметов П.А. Повышение эффективности использования георесурсного потенциала при разработке крутопадающих месторождений сложного структурного строения / П.А. Шеметов: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / Навойский гос. ун-т. – Навои, 2006. – 47 с.

11. Арсентьев А.И. Законы формирования рабочей зоны карьера: Учебное пособие / А.И. Арсентьев. – Л.: Изд-во ЛГИ, 1986. – 54 с.

12. Дриженко А.Ю. Управление параметрами рабочей зоны железорудных карьеров при понижении горных работ / А.Ю. Дриженко, А.А. Рыкус: Зб. наук. праць НГУ. – Дніпропетровськ:РВК НГУ, 2006. - № 25. – С. 81-87.

13. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров / А.Ю. Дриженко, В.П. Мартыненко, В.И. Симоненко [и др.]; Под ред. А.Ю. Дриженко. – М.: Недра, 1994. – 288 с.

14. Дриженко А.Ю. Управление работой автомобильно-железнодорожного транспорта с экскаваторными перегрузочными пунктами на карьере ПГОКА / А.Ю. Дриженко, В.В. Лотоус, А.А. Рыкус // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2007. - №9. – С.15-21.

15. Дриженко А.Ю. Совершенствование горнотранспортной системы действующих глубоких карьеров / А.Ю. Дриженко, А.А. Рыкус // Зб. наук. праць НГУ. – Дніпропетровськ:РВК НГУ, 2006. – 1, № 24. – С. 29-38.

16. Дриженко А.Ю. Новые технологические решения по разработке глубоких железорудных карьеров этапами / А.Ю. Дриженко // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: Сб. науч. трудов / Ин-т горн. дела УрО РАН. – Екатеринбург: Изд-во ИГД УрО РАН, 2004. – Вып. 2. – С. 212-225.

17. Обоснование параметров системы вскрытия глубоких карьеров при поэтапной отработке крутыми выемочными слоями / А.Ю. Дриженко, В.И. Симоненко, С.Н. Николаенко [и др.] // Разработка рудных месторождений: Сб.науч. тр. – Кривой Рог: КТУ, 1993. - № 54. – С. 31-43.

18. Рыкус А.А. Оптимизация модели автосамосвала для работы в глубинной зоне железорудных карьеров / А.А. Рыкус // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників-2005». – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – Т.4 (П-Я). – С. 43-49.

19. Пригунов А.С. Поточная технология – основное направление развития открытой разработки взорванных скальных пород / А.С. Пригунов // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ИГТМ, 1998. - № 5. – С. 69-76.

20. Пригунов А.С. Современное состояние и перспективы применения циклично-поточной технологии открытой разработки в Кривбассе / А.С. Пригунов, С.М. Бро, И.Л. Гуменик // Горный журнал. – 2003. - № 4 – 5. – С. 62-65.

21. Новожилов М.Г. Горногеометрический анализ и режим горных работ карьеров / М.Г. Новожилов, Б.Н. Тартаковский, М.С. Четверик. – Киев: Наук. думка, 1971. – 144 с.

22. Четверик М.С. Вскрытие горизонтов глубоких карьеров при комбинированном транспорте / М.С. Четверик. – Киев: Наук. думка, 1986. – 188 с.

23. Высокопроизводительные глубокие карьеры / М.Г. Новожилов, А.Ю. Дриженко, А.М. Маевский [и др.]; Под ред. М.Г. Новожилова. – М.: Наука, 1984. – 188 с.

24. Новожилов М.Г. Оптимизация параметров высоких уступов при разработке глубоких горизонтов карьеров / М.Г. Новожилов, В.И. Куценко, А.Ю. Дриженко // Горный журнал. – 1983. - №3. – С. 14-19.

25. Взрывание высоких уступов / М.Ф. Друкованый, Э.И. Ефремов, М.Г. Новожилов [и др.]. – М.: Недра, 1964. – 107 с.

26. Высокие уступы на карьерах / М.Г. Новожилов, В.И. Куценко, А.Ю. Дриженко // Горный журнал. – 1984. - № 7. – С. 19-24.

27. Новожилов М.Г. Обеспечение равномерного режима вскрышных работ на глубоких горизонтах / М.Г. Новожилов, В.И. Куценко // Горный журнал. – 1985. – № 3. – С. 23-25.

28. Дослідження технологічних схем відпрацювання крутих шарів при поетапній розробці круто нахилених родовищ / В.К. Слободянюк, О.В. Письменний, В.С. Саприкін [та ін.] // Вісник Житомирського технологічного університету. – Житомир, 2005. – № 35. – С. 139-147.

29. Слободянюк В.К. Аналитические исследования влияния схемы вскрытия на главные параметры карьера / В.К. Слободянюк, И.И. Максимов // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2006. – Вип. 14. – С. 11-14.

30. Вилкул Ю.Г. Теоретические основы определения объемов горно-капитальных работ при вскрытии глубоких горизонтов трассами спиральной формы / Ю.Г. Вилкул, В.К. Слободянюк, И.И. Максимов // Горно-информационный аналитический бюллетень. – 2007. – № 7. – С. 17-23.

31. Ржевский В.В. Открытые горные работы. В 2 ч.: Технология и комплексная механизация / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 549 с.

32. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В.Л. Яковлев. - Новосибирск: Наука, 1989. – 238 с.

33. Васильев М.В. Влияние динамики параметров рудных карьеров на эксплуатационные показатели автомобильного транспорта // М.В. Васильев, В.П. Смирнов, А.А. Котяшев // Горнорудное производство. Вопросы карьерного транспорта. – Свердловск. – ИГД МЧМ. – 1973. – С. 12 – 17.

34. Хохряков В.С. Проблемы оптимизации карьеров с учетом технологии и оборудования будущего // В.С. Хохряков // Горный журнал. – 1983. – №1. – С.24-26.

35. Головин В.С. Влияние глубины карьеров на технико-экономические параметры автомобильного и железнодорожного транспорта // В.С. Головин, Е.В. Денисов // Транспортирование горной массы с глубоких горизонтов карьеров. – Свердловск. – ИГД МЧМ. – 1984. – С. 27 – 31.

36. Васильев В.В. Транспортные процессы и оборудование на карьерах / В.В. Васильев. -М.: Недра, 1986. – 240 с.

37. Прокопенко В.И. Теория и способы обеспечения устойчивой работы комплексов оборудования на глубоких железорудных карьерах / Прокопенко Василий Иванович: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.03 / Московск. горн. ин-т. - М., 1988. -30 с.

38. Красноштанов Р.Ф. Технологический транспорт на карьерах / Р.Ф. Красноштанов, И.В. Зырянов // Горный журнал. - 1994. – №9. – С. 30–33.

39. Яковлев В.Л. К дифференцированному учету горнотехнических условий при проектировании карьерного транспорта / В.Л. Яковлев// Карьерный транспорт. – Свердловск.– ИГД.– 1980. – С. 6–10.

40. Яковлев В.Л. Перспективное планирование технико-экономических показателей карьерного транспорта / В.Л. Яковлев, В.С. Головин // Горнорудное производство. Совершенствование транспорта рудных карьеров. – Свердловск. – ИГД МЧМ. – 1978. – С. 19–23.

41. Оптимизация параметров транспортно-перегрузочных комплексов на карьерах / А.Г.Шапарь, А.М.Эрперт, Л.М.Рипп [и др.]. – М.: Недра, 1988.–207 с.

42. Кулешов А.А. Выбор оптимального типа экскаваторно-автомобильного комплекса для карьера Костомукшского ГОКа / А.В. Кулешов, К.А. Кумачев, В.Я. Майминд // Горный журнал. – 1984. – №4. – С. 31 –32.

43. Бызов В.Ф. Усреднительные системы на горно-обогатительных предприятиях / В.Ф. Бызов. – М.: Недра, 1988. – 219 с.

44. Мельников Н.В. Открытая разработка месторождений, избранные труды / Н.В. Мельников. – М.: Наука, 1985. – 279 с.

45. Яковлев В.Л. Принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров // В.Л. Яковлев // Проблемы транспорта рудных карьеров. – Свердловск. – ИГД МЧМ. – 1981.–С. 7– 42.

46. Четверик М.С. Вскрытие глубоких горизонтов при циклично-поточной технологии / М.С. Четверик // Горный журнал. – 1982. – №4. – С. 22–26.

47. Смирнов В.П. Совершенствование техники и технических схем эксплуатации автомобильного транспорта на карьерах // В.П. Смирнов // Совершенствование технологии и организации транспортирования горной массы на карьерах. – Свердловск. – ИГД МЧМ. – 1982. – С. 23–31.

48. Опыт разработки наиболее экономических транспортных схем при проектировании карьеров / А.В.Андрющенко, В.С.Сербин, П.С.Трушин [и др.] //Горный журнал. – 1983. –№10. –С. 14–16.

49. Андреев А.В. Транспортные машины и автоматизированные комплексы открытых разработок // А.В. Андреев, В.А.Дьяков, Е.Е.Шешко. – М.: Недра, 1975. –464 с.

50. Ковалев В.И. Допроектный выбор транспортных комплексом карьерного оборудования // В.И. Ковалев // Транспортирование горной массы с глубоких горизонтов карьеров. – Свердловск. – ИГД МЧМ. – 1984. – С. 13–18.

51. Горшков Э.В. Исследование влияния глубины карьеров на эксплуатационные параметры технологического автотранспорта // Э.Ф. горшков, П.И. Тарасов // Транспортирование горной массы с глубоких горизонтов карьеров. – Свердловск. – ИГД МЧМ. – 1984. – С. 39–44.

52. Прокопенко В.И. Обоснование горизонта расположения перегрузочного пункта в глубоком карьере по производительности // В.И. Прокопенко // Изв.ВУЗов. Горный журнал. – 1982. – №9. – С. 12–15.

53. Селянин В.Г. Интенсификация горных работ в глубоких карьерах / В.Г. Селянин. – М.: Недра, 1977.– 192 с.

54. Смилянов А.А. Сфера рационального применения различных видов транспорта на открытых горных работах / А.А. Смилянов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 1997.–№6. – с.129–132.

55. Ворошилов Г.А. Обоснование оптимальных уклонов автодорог при разработке нагорно-глубинных карьеров: дис. ... канд. техн.наук / Ворошилов Г.А. – Свердловск, 1984. – 212 с.

56. Галкин В.А. Технологические основы проектирования и планирования грузопотоков на рудных карьерах с автомобильным транспортом [Текст]:

дис. ... д-ра техн. наук / Галкин Владимир Алексеевич. — Магнитогорск, 1987. — 290 с.

57. Горшков Э.В. Обоснование рациональных параметров технологического автотранспорта при повышенных уклонах карьерных автодорог: дис. ... канд. техн. наук / Горшков Э. В. — Свердловск, 1984. — 212 с.

58. Мельников Н.Н. Перспективы решения научных проблем при обработке мощных глубоких карьеров / Н.Н. Мельников, С.П. Решетняк // Горное дело: сб. статей / ИГД СО РАН. — Якутск. — 1994. — С. 14–23.

59. Васильев М.В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев. — М.: Наука, 1972. — 202 с.

60. Васильев М. В. Современный карьерный транспорт / М. В. Васильев. — М.: Недра, 1969.—304 с.

61. Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров / М. В. Васильев. — М.: Недра, 1983.—295 с.

62. Васильев М.В. Эксплуатация карьерного автотранспорта / М.В. Васильев, В. П. Смирнов, А. А. Кулешов. — М.: Недра, 1979. — 280 с.

63. Довженок А.С. Развитие теории методов управления автотранспортной системой горнодобывающего предприятия: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.01/ Довженок Александр Сергеевич. — СПб., 2002. — 229с.

64. Зырянов И.В. Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.05.06 / Зырянов Игорь Владимирович: СПб., 2006. — 40 с.

65. Лель Ю.И. Методы расчета параметров устойчивой работы автотранспорта глубоких карьеров: дис. ... докт. техн. наук / Лель Юрий Иванович. — Екатеринбург, 1999.—297 с.

66. Новожилов М.Г. Основные вопросы открытой разработки на больших глубинах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Новожилов Михаил Галактионович. — Свердловск: СГИ, 1954. — 30 с.

67. Ржевский В.В. Пути решения проблем открытой разработки глубоких горизонтов / В. В. Ржевский, В. В. Истомин // Проблемы разработки глубо-

ких карьеров и пути их решения: тез. докл. Всесоюзн. науч.-техн. конфер. – М.: Черметинформация, 1987.–С. 2–4.

68. Смирнов В.П. Обоснование и оптимизация параметров технологического автомобильного транспорта рудных карьеров: дис. ... д-ра техн. наук / Смирнов Владимир Павлович. – Якутск, 1990. – 359 с.

69. Трубецкой К.Н. Методы оценки эффективности инвестиций горных предприятий / К.Н. Трубецкой, А.А. Пешков, Н.А. Мацко // Горный журн. – 1993. – № 2. –С. 3–11.

70. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. – Новосибирск: Наука, 1989. – 240 с.

71. Галкин В.А. Исследование технологических особенностей эксплуатации большегрузного автотранспорта на карьерах цветной металлургии / В.А. Галкин // Тез. докл. и сообщ. Всесоюзн. науч.-техн. конф. по карьерному транспорту. – Свердловск. – 1984.– С. 117–120.

72. Дороненко Е.П. Исследование особенностей работы и основных параметров автомобильного транспорта на карьерах: дис. ... канд. техн. наук / Дороненко Е.П. – Магнитогорск: МГМИ, 1963.–175 с.

73. Мун В.С. Исследование вопросов использования автомобилей-самосвалов на перевозках горной массы: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Мун В. С. — Ташкент: ТМИ, 1969.–24 с.

74. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев [и др.] – СПб.: Наука, 2004, – 425 с.

75. Домрин В.Б. Конструктивные схемы карьерных гусеничных самосвалов / В.Б. Домрин, В.М. Неволин, А.В. Бесчасный // Горная промышленность. – 2008. – № 2. – С.71–75.

76. Перспективы использования гусеничных транспортных средств при отработке глубоких кимберлитовых карьеров /А.Н. Акишев, В.А. Бахтин, С.Л. Бабаскин [и др.]. – Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург. – УрО РАН. – 2005. – С. 18–23.

77. Новый взгляд на карьерный автомобильный транспорт / В.Л. Яковлев, П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев [и др.] // Известия вузов. Горный журнал. – 2006. – № 6. – С.97–107.

78. Пивень В.А. Перспективы применения подъемников автомобилей на карьерах / В.А. Пивень, А.А.Икол, Е.А. Бубнова // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.– Днепропетровск:– 2007.– №72 .– С. 145–154.

79. Механико-гидравлический фрикционный подъемник для карьеров / В.И. Белобров, В.А. Кабанов, С.С. Наумов [и др.] // Изв Вузов. Горный журнал. – 1988. – № 4. – С. 86–90.

80. Использование наклонных подъемников для транспортирования крупнокусковой горной массы на глубоких карьерах Заполярья / Ю.В. Демидов, Н.К. Трубецкой, С.С. Наумов [и др.] // Горный журнал. – 1998. –№7. –С. 42–45.

81. Кулешов А.А. Автомобильный карьерный подъемник с автономным приводом / А.А. Кулешов, Ю.Д. Тарасов // Горный журнал.–2001. – № 1. –С. 53–56.

82. Экономико-математическое моделирование параметров открытых горных выработок // В.А. Завсегдашний, Е.А.Несмашный, В.Д.Сидоренко [и др.] // Сб. научных трудов НГА Украины. – Днепропетровск. – 1999.– № 7.– Т. 2 –С. 126 – 129.

83. Николашин Ю.М. Граничные условия подвигания восточного борта Ингулецкого карьера в сторону р. Ингулец // Ю.М. Николашин, Н.В. Корчагин, А.Е. Биленко // Разработка рудных месторождений. – 2011. – Вып. 94. – С. 3–5.

84. Фиделев А.С. Троллейвозный и дизель-троллейвозный транспорт. / А.С. Фиделев. – М.: Недра, 1966. – 86 с.

85. Горшков Э.В. Обоснование применения автотранспорта на карьерных автодорогах с повышенным уклоном: методические рекомендации / Э. В. Горшков. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1987. – 32 с.

86. Зотеев В.Г. Основные проблемы формирования предельных контуров карьеров в скальных породах / В. Г. Зотеев // Устойчивость и технология

формирования бортов и отвалов на глубоких карьерах: сб. науч. тр. / ИГД МЧМ СССР. – Свердловск, 1987. – Вып. 83. – С. 8–15.

87. Казарез А.Н. Эксплуатация карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией / А. Н. Казарез, А. А. Кулешов. – М.: Недра, 1988. – 264 с.

88. Котяшев А.А. Исследование эксплуатации большегрузных автосамосвалов на глубоких горизонтах Ингулецкого карьера / А. А. Котяшев, Ю. Р. Лель, Ю. В. Стенин // Карьерный транспорт: сб. науч. тр. – ИГД МЧМ СССР. – Свердловск, 1980. – Вып. 62. – С. 52–58.

89. Методика оптимизации уклонов автодорог при разработке нагорно-глубинных карьеров / Ю.И. Лель, Г.А. Ворошилов, Т.Л. Ефимовских [и др.] // Материалы Междунар. науч.-техн. Семинара «Энергосбережение на карьерном автомобильном транспорте», 24–26 июня 2003 г., г. Екатеринбург. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. – С. 72–81.

90. Саканцев Г.Г. Исследование возможности и условий применения крутых уклонов вскрывающих выработок на глубоких карьерах / Г.Г. Саканцев // Изв. УГГУ. Сер.: Горное дело. – 2005. – Вып. 21. – С. 37–44.

91. Best practice a must for new Hunter pit // Austral. Mining. – 1995. – Vol. 87. – № 8. – P. 8–9.

92. Buki P. Tightening the best on production cost / I P. Buki, B. Nischk II Pit and Quarry. – 1986. – № 3. – P. 38–44.

93. Sturgul J. Animation models of mines to assist in mine planning and production / J. R. Sturgul // Mining Engineering. – 1994. – Vol. 46. – № 4. – P. 350–351.

94. US Value Line Investment Survey. Value Line Publishing Inc. – New York, Edition 8. February 4, 1994. – P.1 150–1292.

95. Williamson, Owen C. Haul Road design for off-Highway mining equipment / Owen C. Williamson II World Mining Equipment. – 1987. – Vol. 12. – № 3. – P.24–26.

96. СНиП 2.05.02–91 Промышленный транспорт / Минстрой России. – М.: ЦИТП Минстроя России, 1996. – 128с.

97. Яковлев В.Л. Проблемы освоения нагорных месторождений Полярного Урала /В. Л. Яковлев, С. И. Бурькин, Г. А. Ворошилов // Горный журн. – 2001. — № 10. – С. 47–50.

98. Косолапов А.И. Обоснование продольного уклона карьерных автомобильных дорог при разработке глубинного месторождения // А.И. Косолапов, С.А. Косолапова // Фундаментальные исследования. – 2005. – № 9. – С. 35–36.

99. Басс К.М. Влияние профиля дороги и конструктивных параметров автосамосвала на показатели движения / К.М. Басс, В.В. Плахотник, В.В. Кривда // Науковий вісник НГУ – Д.: НГУ, 2013. – №4. – С. 59–63.

100. Потапов М.Г. Карьерный транспорт: моногр. / М.Г. Потапов. – М.: Недра, 1980. – 264 с.

101. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д.: НГУ, 2011. – 542 с.

102. Кривда В.В. Параметры автомобильно-железнодорожной перегрузочной площадки при использовании карьерного автотранспорта с механизмом изменения центра масс / В.В. Кривда // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.– Днепропетровск:– 2013.– №111 . – С. 58–66.

103. Wilber K., «Introduction to Integral Theory and Practice: IOS Basic and the AQAL Map» // AQAL Journal. — Vol 1, N 1, 2006.

104. Sullivan L. Quality Function Deployment / L.P. Sullivan // Quality Progress, June 1986, pp. 39–50.

105. Амосов А.А. Вычислительные методы для инженеров / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченова. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.

106. Патент на корисну модель 79872 Україна, МПК кл. В 62 G 21/00 Задня підвіска вантажного автомобіля з електромеханічною трансмісією / К.А.Зіборов, Г.К. Ванжа, К.М. Бас, В.В. Кривда (UA).; заявл. 25.04.2013; опубл. 12.08.2013, Бюл. №15.

107. Bass K.M. Planar and spatial mathematical motion simulation of open pit mining vehicles / К.М. Bass , S.M. Kuvayev , V.V. Plakhotnik, V.V. Krivda // State

Higher Educational Institution "National Mining University". – 2014. – Vol. 3. – P. 60–65.

108. Басс К.М. Применение механизма изменения положения центра масс в карьерном автотранспорте в условиях повышенных уклонов автодорог / К.М. Басс, В.В. Плахотник, В.В. Кривда / ДВНЗ "НГУ" // Гірнична електромеханіка та автоматика, 2013р. – №90. – С. 92–97.

109. Томаков П.И. Технология, механизация и организация открытых горных работ / П.И. Томаков, И.К. Наумов.– Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 312 с.

110. Михайлов В.А. Транспортные машины рудных карьеров / В.А. Михайлов. – М.: Вища школа. Головное изд-во, 1985. – 183 с.

111. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования: офиц. изд.: утв. Госстроем России, Мин-вом экономики, Мин-вом финансов РФ, Госпланом России, № 7–12/47 от 31.03.94 г. – М., 1994.–80 с.

112. Кривда В.В. Влияние эксплуатационно-технических параметров автосамосвала на параметры систем разработки глубокого железорудного карьера / В.В. Кривда // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов.– Днепропетровск, 2014.– № 115 .– С. 156–163.

113. Басс К.М. Зависимость изменения параметров рабочих площадок при применении конструкции механизма изменения центра масс карьерных автосамосвалов / К.М. Басс, В.В. Кривда, В.В. Терещенко, Д.В. Швец, Е.С. Левченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов.– Днепропетровск, 2014.– № 114 .– С. 251–260.

114. Басс К.М. Параметры транспортных коммуникаций на глубоких карьерах при применении усовершенствованных автосамосвалов / К.М. Басс, В.В. Кривда, Д.В. Швец, Е.В. Бабий // Metallургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2014.– Вып. 4.– С. 53–57.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт передачи рекомендаций по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня «ОАО Полтавский ГОК»

ЗАТВЕРДЖУЮ:



В.о. начальника технічного відділу
Полтавський ГЗК»

Д. В. Вінівітін

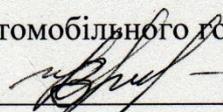
» 07 2015 р.

АКТ

о передаче результатов диссертационной работы
Кривди Віталія Валерійовича
на виробництво

Результати диссертационної роботи В.В. Кривди «Рекомендації визначення раціональних параметрів систем розробки глибоких кар'єрів з урахуванням застосування транспортного устаткування нового технічного рівня» передані товариству з обмеженою відповідальністю «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат», для використання у техніко-економічному обґрунтуванні технологічних рішень при коригуванні розділів проектів з гірничотранспортних робіт.

Відповідальний виконавець,
асистент кафедри автомобілів та
автомобільного господарства


_____ В.В. Кривда

Начальник гірничотранспортного
цеху


_____ О.М. Лисенко

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт передачи рекомендаций по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня в Институт геотехнической механики им.Н.С. Полякова НАН Украины

ЗАТВЕРДЖУЮ



Заст. директора з наукової роботи
ІГТМ ім. Н.С. Полякова НАН
України

доктор технічних наук

Круковський А.П.

АКТ

передачі науково-технічної продукції

Даним актом підтверджуємо передачу в Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України «Рекомендацій щодо визначення раціональних параметрів систем розробки глибоких кар'єрів з урахуванням застосування транспортного устаткування нового технічного рівня», розроблених при виконанні дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Кривди Віталія Валерійовича.

Вказаний матеріал планується використовувати в прогнозах перспективного розвитку гірничорудних підприємств України.

Від розробника

В.В. Кривда

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акт внедрения рекомендаций по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня в учебный процесс Государственного ВУЗ «Национальный горный университет»

"ЗАТВЕРДЖУЮ"



Перший проректор ДВНЗ «НГУ»

професор

П.І. Пілов

м.п. « »

2015 р.

АКТ

впровадження у навчальний процес
матеріалів дисертаційної роботи В.В. Кривди

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» підтверджує, що «Рекомендації щодо визначення раціональних параметрів систем розробки глибоких кар'єрів з урахуванням застосування транспортного устаткування нового технічного рівня», розроблені в ході виконання дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Кривдою Віталієм Валерійовичем, використовуються в навчальному процесі при підготовці студентів кафедри автомобілів та автомобільного господарства за напрямом 6.070106 «Автомобільний транспорт» спеціальності 7.07010601 «Автомобілі та автомобільне господарство».

Зав. кафедри автомобілів та
автомобільного господарства

К.М. Бас

Асистент кафедри автомобілів та
автомобільного господарства

В.В. Кривда

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акт внедрения методики определения оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния в расчетах нормативных показателей расхода топлива большегрузных автосамосвалов ОАО «Полтавский ГОК»

ЗАТВЕРДЖУЮ:



В. О. начальника технічного відділу
В. О. «Полтавський ГЗК»

Д. В. Вінівітін

24 » 107 2015 р.

АКТ

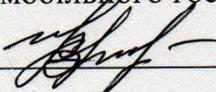
впровадження результатів дисертаційної роботи

Кривди Віталія Валерійовича

на виробництво

ТОВ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» підтверджує, що результати дисертаційної роботи Кривди В.В. – «Методика визначення оптимальних ухилів кар'єрних автошляхів по витраті палива кар'єрного автосамоскиду при застосуванні механізму зміни положення центру мас та міжосьової відстані» – будуть використані при розрахунках нормативних показників роботи багато вантажних автосамоскидів на глибоких горизонтах кар'єру Полтавського ГЗК.

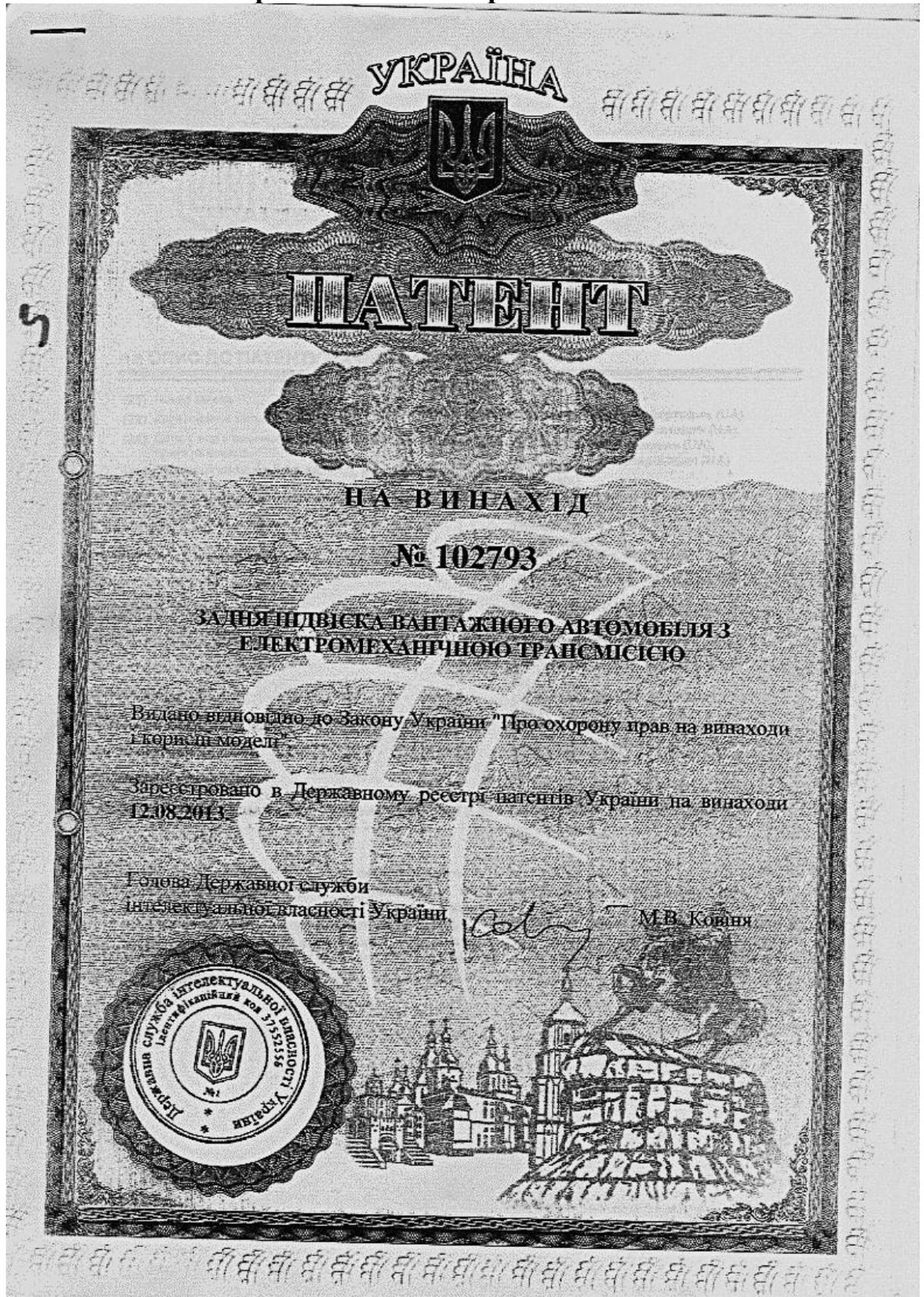
Відповідальний виконавець,
асистент кафедри автомобілів та
автомобільного господарства

 В.В. Кривда

Начальник гірничотранспортного
цеху

 О.М. Лисенко

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Патент Украины №102793 «Задняя подвеска автомобиля с электромеханической трансмиссией»



ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Математическая модель движения карьерного автосамосвала по дороге с продольным уклоном в программном продукте «wolfram mathematica»

Плоскостная математическая модель движения карьерного автосамосвала по дороге с продольным уклоном

При составлении расчетной схемы автомобиля (велосипедного типа) допускаем, что механические характеристики колес, расположенных на одной оси соответствующих мостов – одинаковы. В этом случае автосамосвал можно представить в виде системы тел (рис. Б.1), соединенных между собой упругими и неупругими связями, причем функции, описывающие взаимодействие колес автомобиля с дорогой, моделируют различные условия движения.

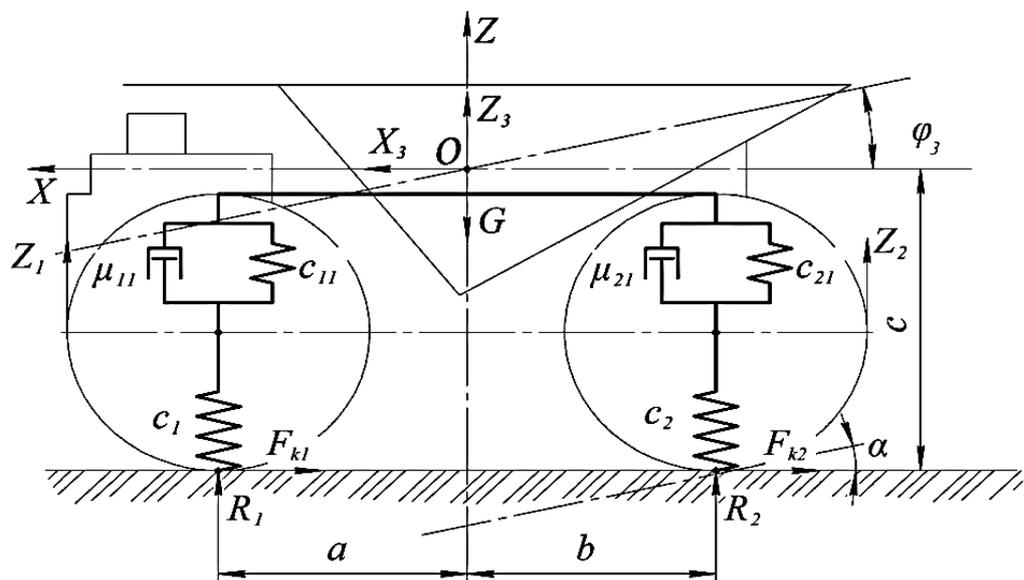


Рисунок Е.1 – Расчетная схема карьерного автосамосвала (плоская модель)

Взаимодействие с дорожным покрытием выражается через нормальные реакции R_1 , R_2 , и силы сопротивления качению F_{k1} и F_{k2} . Кроме того, на схеме обозначено:

a , b , c – размеры определяющие положение центра масс автомобиля, относительно осей колес и полотна дороги;

c_1 , c_2 – жесткости соответственно передних и задних колес по нормали;

c_{11} , μ_{11} , c_{21} , μ_{21} – коэффициенты жесткости и демпфирования соответственно передней и задней подвесок;

Z_3 – относительное перемещение поддресоренной массы кузова перпендикулярно курсу движения автомобиля;

Z_1 , Z_2 – перемещение осей соответственно передних и задних колес перпендикулярно курсу движения автомобиля;

X_3 – перемещение центра масс автомобиля по курсу его движения;

φ_3 – угол поворота кузова относительно оси, проходящей через центр масс кузова перпендикулярно плоскости XOZ .

Движение автомобиля рассматриваем в плоскости XOZ , проходящей через продольную ось автомобиля.

Для составления уравнения движения воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{d\dot{q}_i} \right) - \frac{dT}{dq_i} + \frac{d\Pi}{dq_i} + \frac{dD}{d\dot{q}_i} = Q_i \quad (\text{E.1})$$

где при составлении выражений для кинетической T и потенциальной энергии Π , диссипативной функции D , были использованы значения масс и моментов инерции m_1, m_2, J_1, J_2 передних и задних колес, массы и момента инерции кузова m_3, J_3 , (в качестве обобщенных координат были выбраны $Z_1, Z_2, Z_3, x, \varphi_3$).

Кинетическая энергия всей системы:

$$T = \frac{1}{2} m_3 \cdot \left(\frac{a \cdot \dot{Z}_2 + b \cdot \dot{Z}_1}{a+b} + \dot{Z}_3 \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \dot{Z}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{J_1 + J_2}{2r^2} \cdot \dot{X}_3 \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot \dot{X}_3^2 (m_1 + m_2 + m_3) + \frac{1}{2} J_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot \dot{Z}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot \dot{Z}_2^2. \quad (\text{E.2})$$

Потенциальная энергия всей системы:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot c_{11} (-a \cdot \varphi_3 - Z_1 + Z_3)^2 + \frac{1}{2} \cdot c_{21} (b \cdot \varphi_3 - Z_2 + Z_3)^2 + \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot Z_1^2 + \frac{1}{2} \cdot c_2 \cdot Z_2^2 - G_1 \cdot \cos \alpha \cdot Z_1 - G_2 \cdot \cos \alpha \cdot Z_2 - G_3 \cdot \cos \alpha \cdot Z_3. \quad (\text{E.3})$$

Диссипативная функция системы:

$$D = \frac{1}{2} \cdot \mu_{11} \cdot (\dot{Z}_3 - a \cdot \dot{\varphi}_3 - \dot{Z}_1)^2 + \frac{1}{2} \cdot \mu_{21} \cdot (\dot{Z}_3 - b \cdot \dot{\varphi}_3 - \dot{Z}_2)^2 + \frac{1}{2} \cdot \mu_{11} \cdot \dot{Z}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \mu_{21} \cdot \dot{Z}_2^2. \quad (\text{E.4})$$

При вычислении обобщенных Q_i сил определялась работа сил тяжести, момента двигателя M_d , сил сопротивления качению.

Работа консервативных сил:

$$\sum \delta A = (G_1 + G_2 + G_3) \cdot \sin \alpha \cdot \delta \cdot X_3 + M_d \frac{\delta \cdot X_3}{r} - F_{k1} \cdot \delta \cdot X_3 - F_{k2} \cdot \delta \cdot X_3, \quad (\text{E.5})$$

при

$$\left. \begin{aligned} F_{k1} &= f_{k1} R_1 \\ F_{k2} &= f_{k2} R_2 \end{aligned} \right\} \quad (E.6)$$

где f_{k1}, f_{k2} – коэффициенты сопротивления качению передних и задних колес, зависящие от состояния дороги и механических характеристик колес.

$m = m_1 + m_2 + m_3$ – масса всего автосамосвала;

r – радиус качения колес;

$a + b = l$ – база автомобиля;

$k_0 = a/a + b$ – коэффициент, определяющий положение центра тяжести кузова относительно осей колес;

M_d – момент двигателя;

$Z_0 = (Z_2 - Z_1)k_0 + Z_3$ – абсолютное перемещение центра масс кузова по нормали.

Реакции R_1 и R_2 выражены с использованием принципа Даламбера. Полученная система будет находиться в равновесии. Уравнения равновесия сил составлены по расчетной схеме рис. Е.2.

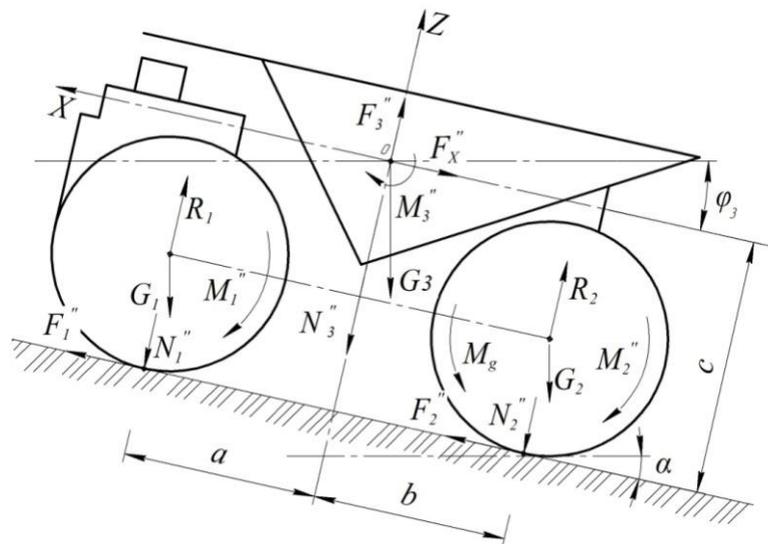


Рисунок Е.2 – Расчетная схема движения автосамосвала, с учетом продольного уклона дороги и консервативных сил

$$R_1 = \frac{1}{l} \{ G_3 \cdot \cos \alpha \cdot a + G_2 \cdot \cos \alpha \cdot l - \sin \alpha (G_1 \cdot r + G_3 \cdot c + G_2 \cdot r) - M_d + M_1'' + M_2'' + M_3'' + M_4'' \cdot a + N_2'' \cdot l + (F_1'' + F_2'') \cdot r + F_3'' \cdot c \}; \quad (E.7)$$

$$\left. \begin{aligned} M_1'' &= J_1 \cdot \frac{\ddot{x}_3}{r}; & F_1'' &= m_1 \cdot \ddot{x}_3; & N_1'' &= m_1 \cdot \ddot{Z}_1; \\ M_2'' &= J_2 \cdot \frac{\ddot{x}_3}{r}; & F_2'' &= m_2 \cdot \ddot{x}_3; & N_2'' &= m_2 \cdot \ddot{Z}_3; \\ M_3'' &= J_3 \cdot \ddot{\phi}_3; & F_3'' &= m_3 \cdot \ddot{x}_3; & N_3'' &= m_3 \cdot \ddot{Z}_3; \end{aligned} \right\} \quad (E.8)$$

тогда силы реакций R_2 , с учетом уравнений (Е.5 – Е.8), приобретают вид:

$$R_2 = \frac{1}{l} \left\{ g \cdot \cos \alpha \cdot (m_3 \cdot a + m_2 \cdot l) - g \sin \alpha ((m_1 + m_2) \cdot r + m_3 \cdot c) + \left(\frac{J_1 + J_2}{r} + (m_1 + m_2) \cdot r + m_3 \cdot c \right) \cdot \ddot{x}_3 + \right. \\ \left. + J_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 - M_d + (m_3 \cdot a \frac{a}{l} + m_2 \cdot l) \cdot \ddot{Z}_2 + m_3 \cdot a \frac{b}{l} \ddot{Z}_1 + m_3 \cdot a \cdot \ddot{Z}_3 \right\} \quad (E.9)$$

Статическая составляющая реакции R_2 зависит только от масс, угла наклона и взаимного расположения системы и равна:

$$R_2^c = \frac{1}{l} \{ g \cdot \cos \alpha \cdot (m_3 \cdot a + m_2 \cdot l) - g \sin \alpha ((m_1 + m_2) \cdot r + m_3 \cdot c) \}. \quad (E.10)$$

Динамическая составляющая реакции определяется по выражению:

$$R_2^d = \left(\frac{J_1 + J_2}{r} + (m_1 + m_2) \cdot r + m_3 \cdot c \right) \cdot \ddot{x}_3 + J_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 - M_d + (m_3 \cdot a \frac{a}{l} + m_2 \cdot l) \cdot \ddot{Z}_2 + m_3 \cdot a \frac{b}{l} \ddot{Z}_1 + m_3 \cdot a \cdot \ddot{Z}_3. \quad (E.11)$$

Кроме этого учитывается ускорение масс:

$$R_1 = \frac{1}{l} \{ (G_1 \sin \alpha \cdot r + G_2 \sin \alpha \cdot r + G_3 \sin \alpha \cdot c) + (G_1 \cos \alpha \cdot l + G_3 \cos \alpha \cdot b) - \\ - M_1'' + M_2'' + M_3'' + N_1'' \cdot l + N_2'' \cdot b - F_1'' \cdot r - F_2'' \cdot r - F_3'' \cdot c + M_d \} \quad (E.12)$$

Статическая составляющая реакции R_1 :

$$R_1^c = \frac{1}{l} \{ (g \sin \alpha \cdot ((m_1 \cdot r + m_2 \cdot r + m_3 \cdot c) + g \cos \alpha (m_1 \cdot l + m_3 \cdot b)) \} \quad (E.13)$$

Динамическая составляющая реакции R_1 :

$$R_1^d = \frac{1}{l} \left\{ - \left(\frac{J_1 + J_2}{r} + (m_1 + m_2) \cdot r + m_3 \cdot c \right) \cdot \ddot{x}_3 + J_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + \right. \\ \left. + M_d + m_3 \cdot b \frac{a}{l} \cdot \ddot{Z}_2 + m_1 \cdot l \cdot \ddot{Z}_1 + m_3 \cdot \frac{b^2}{l} \ddot{Z}_1 + m_3 \cdot b \cdot \ddot{Z}_3 \right\} \quad (E.14)$$

После подстановки в уравнение Лагранжа выражений для кинетической и потенциальной энергии, диссипативной функции, а также соответствующих преобразований, приходим к системе уравнений:

$$\begin{cases} m \ddot{X}_3 = \frac{M_g}{r} - f_{k1} R_1 - f_{k2} R_2 + mg \sin \alpha \\ (m_1 + m_3 k_0^2) \ddot{Z}_1 - m_3 k_0^2 (\ddot{Z}_2 + \ddot{Z}_3) + (c_1 + c_{11}) \dot{Z}_1 - c_{11} (Z_3 + \varphi a) + c_{11} \mu_{11} (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_3 - \dot{\varphi} a) = g \cos \alpha (m_1 - m_3 k_0) \\ (m_2 + m_3 k_0^2) \ddot{Z}_1 - m_3 k_0^2 (\ddot{Z}_1 + \ddot{Z}_3) + (c_2 + c_{21}) \dot{Z}_2 - c_{21} (Z_3 - \varphi b) + c_{21} \mu_{21} (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3 + \dot{\varphi} b) = g \cos \alpha (m_2 + m_3 k_0) \\ m_3 \ddot{Z}_0 - c_{11} \mu_{11} (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_3 - \dot{\varphi} a) - c_{21} \mu_{21} (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3 + \dot{\varphi} b) - c_{11} (Z_1 - Z_3 - \varphi a) - c_{21} (Z_2 - Z_3 + \varphi b) = m_3 g \cos \alpha \\ J_3 \ddot{\varphi} - c_{11} \mu_{11} a (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_3 - \dot{\varphi} a) + c_{21} \mu_{21} b (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_3 + \dot{\varphi} b) - c_{11} a (Z_1 - Z_3 - \varphi a) + c_{21} b (Z_2 - Z_3 + \varphi b) = 0 \end{cases} \quad (\text{E.15})$$

Получена система из пяти дифференциальных уравнений (E.15), описывающая прямолинейное движение машины с учетом влияния поперечных и крутильных колебаний, которые могут возникнуть при возмущении движения или на переходных режимах. Значение собственных частот и амплитуд колебаний являются параметрами для оценки плавности хода машины, ее надежности в целом.

Проведен анализ движения карьерного автосамосвала по траектории с высотой неровностей равной до 0,5 м, автосамосвала со следующими фактическими параметрами:

a, b, c – размеры определяющие положение центра масс автомобиля, относительно осей колес и полотна дороги;

c_1, c_2 – жесткости соответственно передних и задних колес по нормали;

$c_{11}, \mu_{11}, c_{21}, \mu_{21}$ – коэффициенты жесткости и демпфирования соответственно передней и задней подвесок;

Z_3 – возможное перемещение подрессоренной массы кузова перпендикулярно курсу движения автомобиля;

Z_1 – возможное перемещение осей передних колес перпендикулярно курсу движения автомобиля;

Z_2 – возможное перемещение осей задних колес перпендикулярно курсу движения автомобиля;

X_3 – перемещение центра масс автомобиля по курсу движения автомобиля;

m_1, J_1 , масса и момент инерции передних колес;

m_2, J_2 , масса и момент инерции задних колес;

m_3, J_3 . масса и момент инерции кузова;

r – радиус качения колес;

$k_0 = a/l$ – коэффициент определяющий положение центра тяжести кузова относительно осей колес;

\dot{x} – скорость центра масс автомобиля по курсу.

**Исходные данные и пространственная математическая модель
движение автосамосвала**

```

(*input*)
(*TIME and Speed*)
L=6.1; (*rut dump*)
Hk=5.8; (*height of the dump*)
cx=0.6; (*coefficient of air resistance*)
Aa=L Hk; (*aerodynamic area of a car*)
po=1.21; (*density of the air*)
(*Masses (κ:τ3)*)
mfw=3400; (*mass of the front wheel*)
GFW=mfw 9.8;
mrw=6800; (*mass of the rear wheel*)
GRW=mrw 9.8;
mb=130000; (*Body Weight*)
GB=GRW 9.8;
Ga=GB+GRW+GFW;
(*Constructions parameters and displacement (м<)*
a=3.46; b=1.83; c=3.4;
ac=3.44;bc=2.51;cc=3.23; (*Constructions parameters and
displacement with Equip(м<)*
Width=a+b; (* (*Wheelbase*) *)
Widthc=ac+bc; (*Wheelbase of equipment*)
r=1.52; (*wheel radius*)
WheelWidth=1/2 Width;
(*Angle and speed (32 κ:м</чG;8 м</сA) *)
α=5;
V0=3;
(*The moment of inertia of the system and weight
(κ:τ3м<2, H1d) *)
JyFW=5.78 104; JyRW=23.12 104; JxFW=2.23 104; JxRW=5.46
104; JyB=3 105; JxB=101.2 104;
(*Stiffness and dissipation of the system ()*)
cfs=7.75 105; crs=7.5 105;
cwr=1.8 106 (*Wheel-road*);
μs=7.75 105;
μwr=5.5 106; (*Wheel-road*)
(*The potential energy of the system*)
T=1/2 (mb z'[t]2+mfw z1'[t]2+ mrw z2'[t]2+JyB φ'[t]2+JxB
ψ'[t]2+JyFW φ1'[t]2+JyRW
φ2'[t]2+(2mfw+2mrw+(2JyFW)/r2+(2JyRW)/r2+mb) (x'[t])2)
(*Parameter of the road*)
Polynom=((1771345-71 x[t]) x[t])/25203500 (*139+(-
1995+x[t]) (139/1995+(464/992518485+(-(58/185600956695))+(-
1.2713027207753964`*^-12+2.818628212016934`*^-17 (-
195+x[t])) (-1496+x[t])) (-997+x[t])) x[t]);
Polinomwith=139+(-1995+x'[t])
(139/1995+(464/992518485+(-(58/185600956695))+(-

```

```

1.2713027207753964`*^-12+2.818628212016934`*^-17 (-
195+x'[t])) (-1496+x'[t])) (-997+x'[t])) x'[t]);*)
Polynomwith=((1771345-71 x'[t]) x'[t])/25203500;
(*П1fo>тBe5н=цФи8а0л;ьЛн=ыКа0яО эМе5н=e5p@г3и8яО
сАи8сАтBe5м<ыК*)
δ1[t]=z1[t]-φ1[t]-
Polynom;(*Piecewise[{{5,x[t]>4},{10,x[t]>6}},0];*)
δ2[t]=z2[t]-φ2[t]-
Polynom;(*Piecewise[{{7,x[t]>2},{2,x[t]>4}},0];*)
δ3[t]=z1[t]-φ1[t]-Polynom;
δ4[t]=z2[t]-φ2[t]-Polynom;
δ1'[t]=z1'[t]-φ1'[t]-Polynomwith;
δ2'[t]=z2'[t]-φ2'[t]-Polynomwith;
δ3'[t]=z1'[t]-φ1'[t]-Polynomwith;
δ4'[t]=z2'[t]-φ2'[t]-Polynomwith;
Δ1[t]= z[t]+ψ[t] L/2+φ[t]a-(z1[t]+Cos[φ1[t] L/2]
);(*z1*)
Δ2[t]= z[t]-ψ[t] L/2+φ[t]a-(z1[t]-Cos[φ1[t] L/2]);(*z2*)
Δ3[t]= z[t]+ψ [t] L/2-φ[t]b-(z2[t]+Cos[φ2[t]
L/2]);(*z3*)
Δ4[t]= z[t]-ψ[t] L/2-φ[t] b-(z2[t]-Cos[φ2[t]
L/2]);(*z4*)
Δ1'[t]= z'[t]+ψ'[t] L/2+φ'[t]a-(z1'[t]-Sin[φ1'[t]
L/2]);(*z1*)
Δ2'[t]= z'[t]-ψ'[t] L/2+φ'[t]a-(z1'[t]+Sin[φ1'[t]
L/2]);(*z2*)
Δ3'[t]= z'[t]+ψ '[t] L/2-φ'[t]b-(z2'[t]-Sin[φ2'[t]
L/2]);(*z3*)
Δ4'[t]= z'[t]-ψ'[t] L/2-φ'[t] b-(z2'[t]+Sin[φ2'[t]
L/2]);(*z4*)
(*The kinetic energy*)
V = 1/2 (cfs(
Δ1[t]^2+Δ2[t]^2+Δ3[t]^2+Δ4[t]^2)+cwr(δ1[t]^2+δ2[t]^2+δ3[t]^2+δ4[t]^2))
(*The dissipative function*)
Q=1/2 (μs(
Δ1'[t]^2+Δ2'[t]^2+Δ3'[t]^2+Δ4'[t]^2)+μwr(δ1'[t]^2+δ2'[t]^2+δ3'[t]^2+δ4
'[t]^2))
1/2 (400573. (x^,)[t]^2+130000 (z^,)[t]^2+3400
(z1^,)[t]^2+6800 (z2^,)[t]^2+300000 (φ^,)[t]^2+57800.
(φ1^,)[t]^2+231200. (φ2^,)[t]^2+1.012410^6 (ψ^,)[t]^2)
((1771345-71 x[t]) x[t])/25203500
1/2 (1.8410^6 (2 (-((1771345-71 x[t])
x[t])/25203500)+z1[t]-φ1[t])^2+2 (-((1771345-71 x[t])
x[t])/25203500)+z2[t]-φ2[t])^2)+775000. ((Cos[3.05
φ2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 φ[t]-3.05 ψ[t])^2+(Cos[3.05
φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]-3.05 ψ[t])^2+(-Cos[3.05
φ2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 φ[t]+3.05 ψ[t])^2+(-Cos[3.05
φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]+3.05 ψ[t])^2))

```

```

1/2 (5.54106 (2 (-(((1771345-71 (x^') [t])
(x^') [t])/25203500)+(z1^') [t]-(φ1^') [t])2+2 (-(((1771345-71
(x^') [t]) (x^') [t])/25203500)+(z2^') [t]-(φ2^') [t])2)+775000.
((-Sin[3.05 (φ2^') [t]]+(z^') [t]-(z2^') [t]-1.83 (φ^') [t]-3.05
(ψ^') [t])2+(-Sin[3.05 (φ1^') [t]]+(z^') [t]-(z1^') [t]+3.46
(φ^') [t]-3.05 (ψ^') [t])2+(Sin[3.05 (φ2^') [t]]+(z^') [t]-
(z2^') [t]-1.83 (φ^') [t]+3.05 (ψ^') [t])2+(Sin[3.05
(φ1^') [t]]+(z^') [t]-(z1^') [t]+3.46 (φ^') [t]+3.05 (ψ^') [t])2))
(* Reduction of in the Lagrange equations by II kind*)
LagrangianEquations
[T_,V_,Q_:0,genCoords_List]:=Module[{L=T-V},{D[D
[L,D[#,t]],t]+D[Q,D[#,t]]-D[L,#)]δ0&@genCoords]
genCoords={x[t],z[t],z1[t],z2[t],φ[t],φ1[t],φ2[t],ψ[t]};
Eq=Lagrangian Equations[T,V,Q, genCoords]
{1/2 (0._+1.84106 (4 ((71 x[t])/25203500+(-1771345+71
x[t])/25203500) (-(((1771345-71 x[t]) x[t])/25203500)+z1[t]-
φ1[t])+4 ((71 x[t])/25203500+(-1771345+71 x[t])/25203500) (-
(((1771345-71 x[t]) x[t])/25203500)+z2[t]-φ2[t])))+1/2
(0._+5.54106 (4 ((71 x'[t])/25203500+(-1771345+71 x'[t])/25203500) (-(((1771345-71
x'[t]) x'[t])/25203500)+z1'[t]-φ1'[t])+4 ((71 x'[t])/25203500+(-1771345+71 x'[t])/25203500) (-
(((1771345-71 x'[t]) x'[t])/25203500)+z2'[t]-φ2'[t])))+400573. x''[t]δ0,1/2 (0._+775000. (2.
(Cos[3.05 φ2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 φ[t]-3.05 ψ[t])+2. (Cos[3.05 φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]-
3.05 ψ[t])+2. (-Cos[3.05 φ2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 φ[t]+3.05 ψ[t])+2. (-Cos[3.05 φ1[t]]+z[t]-
z1[t]+3.46 φ[t]+3.05 ψ[t])))+1/2 (0._+775000. (2. (-Sin[3.05 φ2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 φ'[t]-
3.05 ψ'[t])+2. (-Sin[3.05 φ1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46 φ'[t]-3.05 ψ'[t])+2. (Sin[3.05
φ2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 φ'[t]+3.05 ψ'[t])+2. (Sin[3.05 φ1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46 φ'[t]+3.05
ψ'[t])))+130000 z''[t]δ0,1/2 (7.24106 (-(((1771345-71 x[t])
x[t])/25203500)+z1[t]-φ1[t])+775000. (-2. (Cos[3.05
φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]-3.05 ψ[t])-2. (-Cos[3.05
φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]+3.05 ψ[t])))+1/2 (2.24107 (-
(((1771345-71 x'[t]) x'[t])/25203500)+z1'[t]-φ1'[t])+775000. (-2. (-Sin[3.05
φ1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46 φ'[t]-3.05 ψ'[t])-2. (Sin[3.05 φ1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46 φ'[t]+3.05
ψ'[t])))+3400 z1''[t]δ0,1/2 (7.24106 (-(((1771345-71 x[t])
x[t])/25203500)+z2[t]-φ2[t])+775000. (0._-2. (Cos[3.05
φ2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 φ[t]-3.05 ψ[t])-2. (-Cos[3.05
φ2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 φ[t]+3.05 ψ[t])))+1/2 (2.24107 (-
(((1771345-71 x'[t]) x'[t])/25203500)+z2'[t]-φ2'[t])+775000. (0._-2. (-Sin[3.05
φ2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 φ'[t]-3.05 ψ'[t])-2. (Sin[3.05 φ2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 φ'[t]+3.05
ψ'[t])))+6800 z2''[t]δ0,387500. (-3.66 (Cos[3.05 φ2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 φ[t]-3.05 ψ[t])+6.92
(Cos[3.05 φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]-3.05 ψ[t])-3.66 (-Cos[3.05 φ2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83
φ[t]+3.05 ψ[t])+6.92 (-Cos[3.05 φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]+3.05 ψ[t])))+387500. (-3.66 (-
Sin[3.05 φ2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 φ'[t]-3.05 ψ'[t])+6.92 (-Sin[3.05 φ1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46
φ'[t]-3.05 ψ'[t])-3.66 (Sin[3.05 φ2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 φ'[t]+3.05 ψ'[t])+6.92 (Sin[3.05
φ1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46 φ'[t]+3.05 ψ'[t])))+300000 φ''[t]δ0,1/2 (-7.24106 (-(((1771345-
71 x[t]) x[t])/25203500)+z1[t]-φ1[t])+775000. (0._+2 (0._-
3.05 Sin[3.05 φ1[t]]) (Cos[3.05 φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]-
3.05 ψ[t])+2 (0._+3.05 Sin[3.05 φ1[t]]) (-Cos[3.05
φ1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 φ[t]+3.05 ψ[t])))+1/2 (-2.24107 (-

```

```

(( (1771345-71 x'[t]) x'[t])/25203500)+z1'[t]-phi1'[t])+775000. (0._+2 (0._-3.05 Cos[3.05
phi1'[t]]) (-Sin[3.05 phi1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46 phi'[t]-3.05 psi'[t])+2 (0._+3.05 Cos[3.05 phi1'[t]])
(Sin[3.05 phi1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46 phi'[t]+3.05 psi'[t])))+57800. phi1''[t]delta0,1/2 (-7.24106 (-
(( (1771345-71 x[t]) x[t])/25203500)+z2[t]-phi2[t])+775000. (2
(0._-3.05 Sin[3.05 phi2[t]]) (Cos[3.05 phi2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83
phi[t]-3.05 psi[t])+2 (0._+3.05 Sin[3.05 phi2[t]]) (-Cos[3.05
phi2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 phi[t]+3.05 psi[t])))+1/2 (-2.2410^7 (-
(( (1771345-71 x'[t]) x'[t])/25203500)+z2'[t]-phi2'[t])+775000. (2 (0._-3.05 Cos[3.05
phi2'[t]]) (-Sin[3.05 phi2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 phi'[t]-3.05 psi'[t])+2 (0._+3.05 Cos[3.05 phi2'[t]])
(Sin[3.05 phi2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 phi'[t]+3.05 psi'[t])))+231200. phi2''[t]delta0,1/2 (0._+775000. (-
6.1 (Cos[3.05 phi2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 phi[t]-3.05 psi[t])-6.1 (Cos[3.05 phi1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46
phi[t]-3.05 psi[t])+6.1 (-Cos[3.05 phi2[t]]+z[t]-z2[t]-1.83 phi[t]+3.05 psi[t])+6.1 (-Cos[3.05
phi1[t]]+z[t]-z1[t]+3.46 phi[t]+3.05 psi[t])))+1/2 (0._+775000. (-6.1 (-Sin[3.05 phi2'[t]]+z'[t]-
z2'[t]-1.83 phi'[t]-3.05 psi'[t])-6.1 (-Sin[3.05 phi1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46 phi'[t]-3.05 psi'[t])+6.1
(Sin[3.05 phi2'[t]]+z'[t]-z2'[t]-1.83 phi'[t]+3.05 psi'[t])+6.1 (Sin[3.05 phi1'[t]]+z'[t]-z1'[t]+3.46
phi'[t]+3.05 psi'[t])))+1.0124106 psi''[t]delta0}

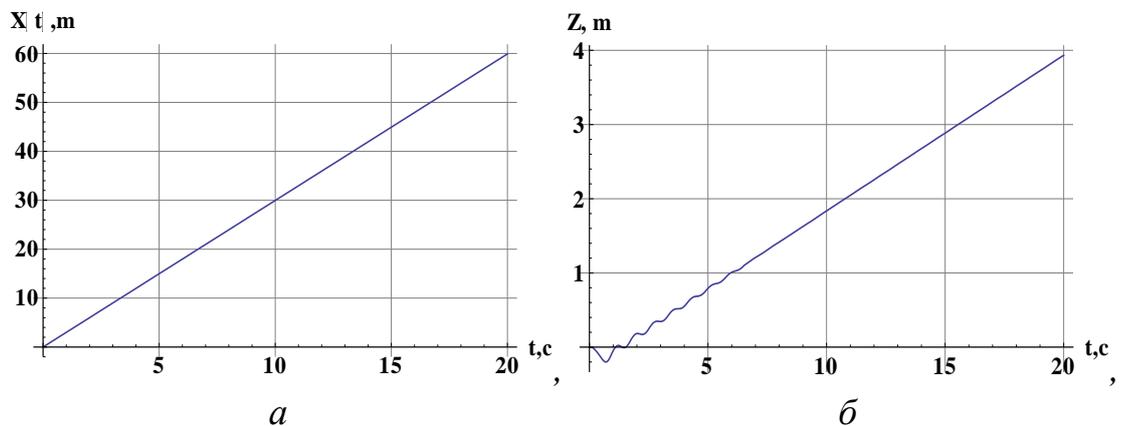
Tcrit=20;
solution=NDSolve
[{Eq, x[0]delta0, x'[0]deltaV0, z[0]delta0, z'[0]delta0, z1[0]delta0, z1'[0]delta0, z2[
0]delta0, z2'[0]delta0, phi[0]delta0, phi'[0]delta0, phi1[0]delta0, phi1'[0]delta0, phi2[0]delta0, phi2'[0]
delta0, psi[0]delta0, psi'[0]delta0}, {x, z, z1, z2, phi, phi1, phi2, psi}, {t, 0, Tcrit}]
{{x->InterpolatingFunction[{{0., 20.}}, <>], z->Interpolatin
gFunc-
tion[{{0., 20.}}, <>], z1->InterpolatingFunction[{{0., 20.}}, <>],
z2->InterpolatingFunction[{{0., 20.}}, <>], phi->InterpolatingFunc-
tion[{{0., 20.}}, <>], phi1->InterpolatingFunction[{{0., 20.}}, <>], phi
2->InterpolatingFunction[{{0., 20.}}, <>], psi->InterpolatingFunc-
tion[{{0., 20.}}, <>]}}
{Plot[x[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines->Automatic, Plo-
tRange->All, AxesLabel->{"t, cA", "X[t], m"}, BaseStyle->
{FontWeight->
"Bold", FontSize->15}], Plot[z[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLi-
nes->Automatic, PlotRange->All, AxesLabel->{"t, c", "Z,
m"}, BaseStyle->{FontWeight->"Bold", FontSize->15}],
Plot[z1[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines->Automatic, Plo-
tRange->All, AxesLabel->{"t, c", "z1, m"}, BaseStyle->{FontWeight->
"Bold", FontSize->15}],
Plot[z2[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines->Automatic, Plo-
tRange->All, AxesLabel->{"t, c", "z2, m"}, BaseStyle->{FontWeight->
"Bold", FontSize->15}],
Plot[phi[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines->Automatic, Plot
Range->All, AxesLabel->{"t, cA", "phi, c^-1"}, BaseStyle->{FontWeight->
"Bold", FontSize->15}, BaseStyle->{FontWeight->
"Bold", FontSize->15}],
Plot[-
phi1[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines->Automatic, PlotRange->Al-
l, AxesLabel->{"t, cA", "phi1, c^-1"}, BaseStyle->{FontWeight->
"Bold", FontSize->15}],

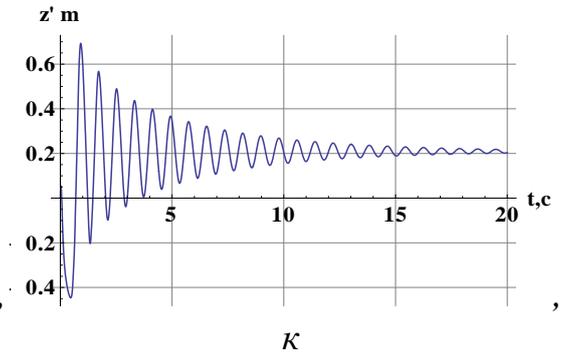
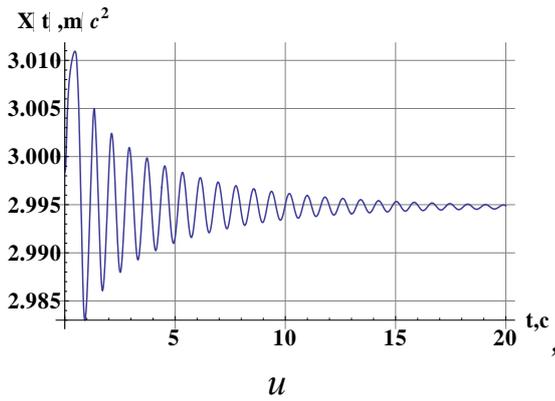
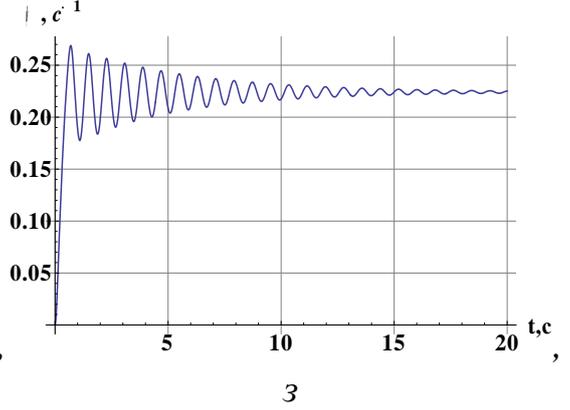
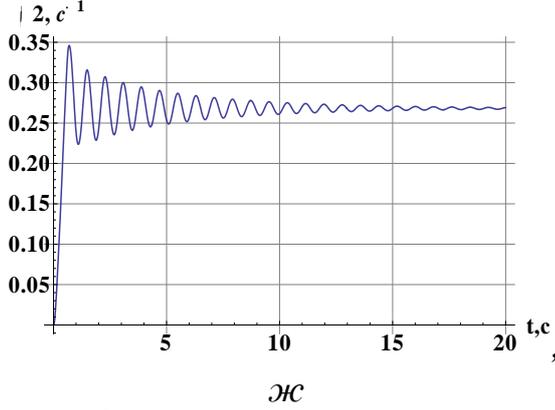
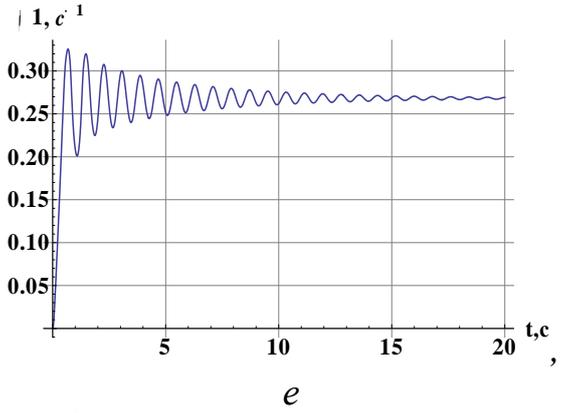
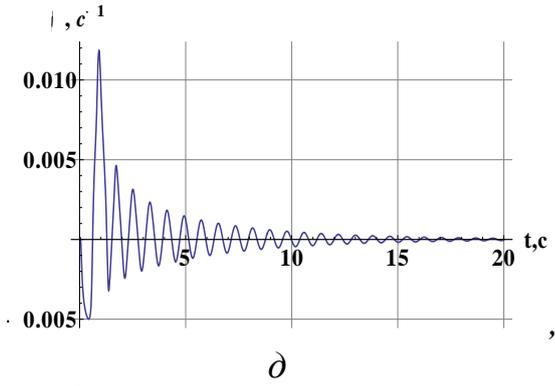
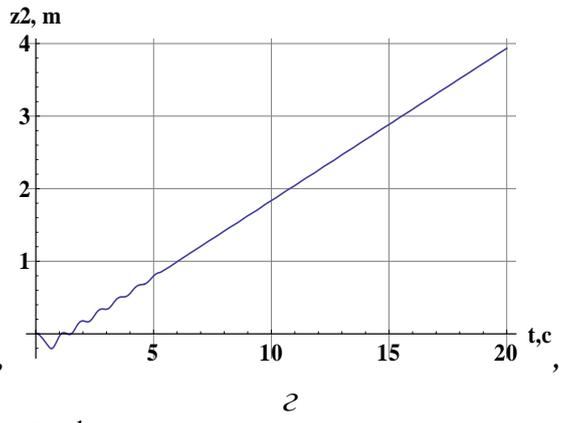
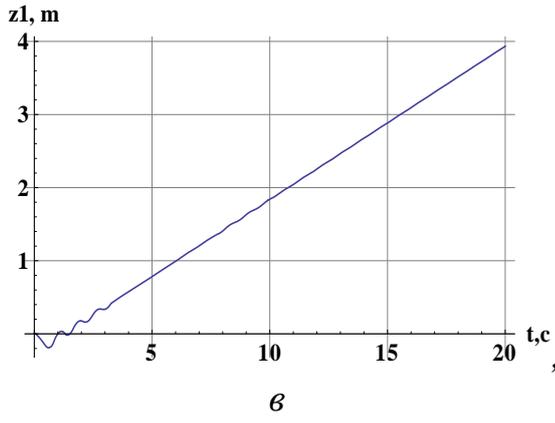
```

```

Plot[-
 $\phi_2[t]$ /.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic, PlotRange→All,
AxesLabel→{"t, cA", " $\phi_2, c^{-1}$ "}, BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}],
Plot[ $\psi[t]$ /.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic, PlotRange→All,
AxesLabel→{"t, cA", " $\psi, c^{-1}$ "}, BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}], Plot[x'[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic,
PlotRange→All, AxesLabel→{"t, cA", "X[t], m/c2"}, BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}], Plot[z'[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic,
PlotRange→All, AxesLabel→{"t, c", "z' m"}], BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}],
Plot[z1'[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic, PlotRange→All,
AxesLabel→{"t, c", "z1', m"}], BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}],
Plot[z2'[t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic, PlotRange→All,
AxesLabel→{"t, c", "z2', m"}], BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}],
Plot[ $\phi'$ [t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic, PlotRange→All,
AxesLabel→{"t, c", " $\phi', p@a0д4/c^2$ "}, BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}],
Plot[ $\phi_1'$ [t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic, PlotRange→All,
AxesLabel→{"t, c", " $\phi_1', p@a0д4/c^2$ "}, BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}],
Plot[ $\phi_2'$ [t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic, PlotRange→All,
AxesLabel→{"t, c", " $\phi_2', p@a0д4/c^2$ "}, BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}],
Plot[ $\psi'$ [t]/.solution, {t, 0, Tcrit}, GridLines→Automatic, PlotRange→All,
AxesLabel→{"t, c", " $\psi', p@a0д4/c^2$ "}, BaseStyle→{FontWeight→"Bold",
FontSize→15}]]

```





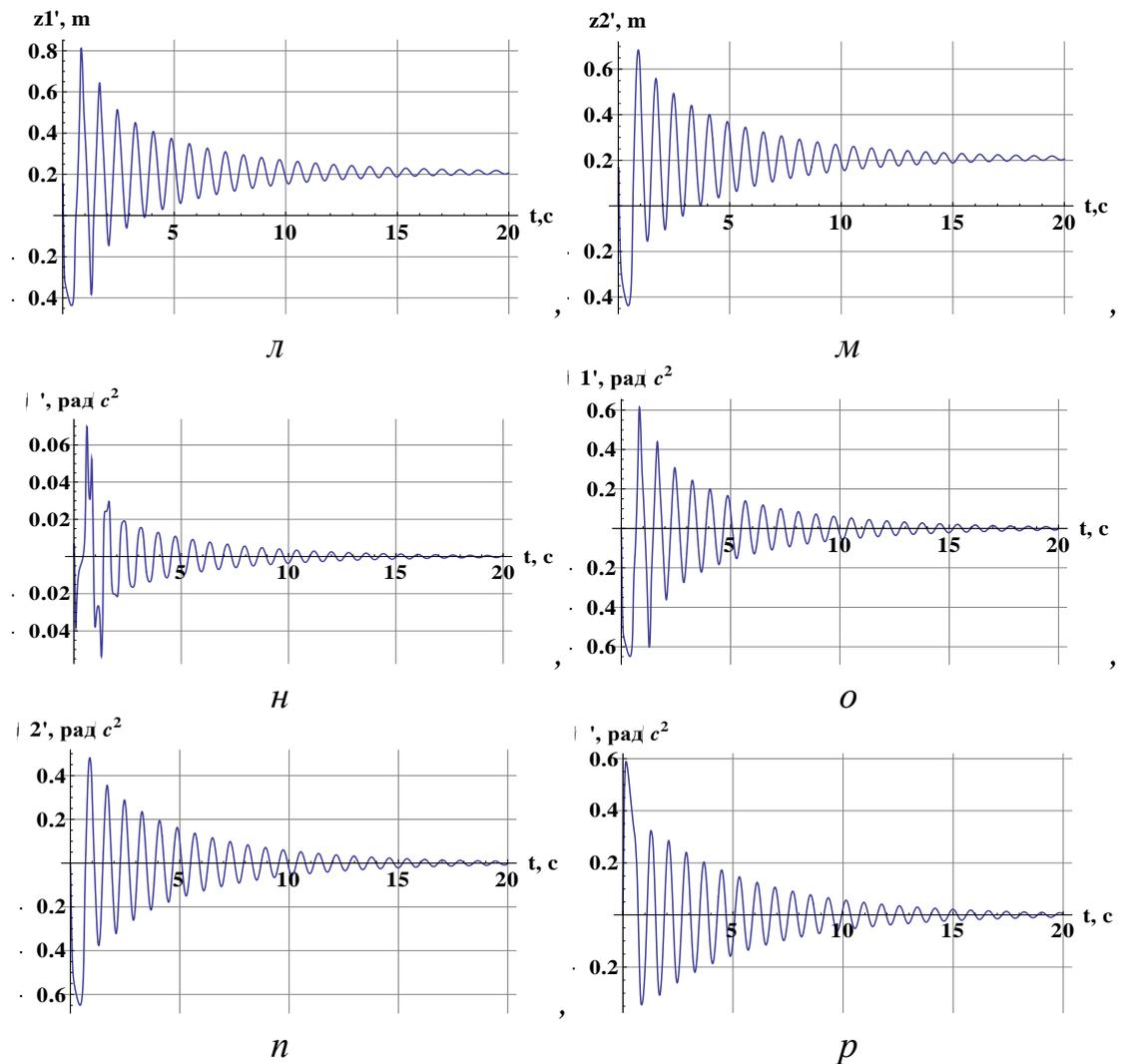


Рисунок Е.3 Графики промежуточных исследований движения автосамосвала по дороге с продольным уклоном 70‰: *a* – перемещение центра масс *b* – прямолинейное перемещение автосамосвала; *v* – прямолинейное перемещение передней оси; *z* – прямолинейное перемещение задней оси; *d* – частота вращения центра масс в плоскости направления движения; *e* – частота вращения передней оси; *ж* – частота вращения задней оси; *з* – частота вращения кузова автосамос; *u* – ускорение центра масс по курсу движения; *к* – вертикальное ускорение центра масс; *л* – вертикальное ускорение передней оси; *м* – вертикальное ускорение задней оси; *н* – вертикальное ускорение кузова; *o* – угловое ускорение передней оси; *n* – угловое ускорение задней оси; *p* – угловое ускорение центра масс;

```

Pv=0; (*Air resistance*)
(*Reaction to the front axle*)
(*x=8; speed of the dump*)
phi=7;
RR=1/Width ((mfw r+JyFW/r+mrv r+JyRW/r+mb c) x' [t]+GB
Cos[phi[t]] a-GB Sin[phi[t]] c-GFW r Sin[phi[t]]+ GRW Cos[phi[t]]
Width-GRW r Sin[phi[t]])
(*Reaction to the rear axle*)
RF=(mfw r+JyFW/r+mrv r+JyRW/r+mb c) x' [t] Cos[phi[t]]-RR

```

```

(*Force of air resistance*)
FV=0.5 cx Aa po x'[t]
(*Rolling resistance*)
h=20;(*roughness height centimeters.*)
mu=1;(*coefficient of soil compaction*)
fk=3/((mu +1)(3-mu))
Fk1=fk RF
Fk2=fk RR
FK=Fk1+Fk2
(*The force of inertia*)
Fi=(mrw+mfw+mb)x''[t]
(*Climbing resistance force*)
Fn=Ga Sin[φ[t]];
(*Traction force*)
Ft=FK+Fn+FV+Fi
0.189036 (2.612154106 Cos[7[t]]-2.372384106
Sin[7[t]]+647636. x'[t])
647636. Cos[7[t]] x'[t]-0.189036 (2.612154106 Cos[7[t]]-
2.372384106 Sin[7[t]]+647636. x'[t])
12.8429 x'[t]
0.192371
0.192371 (647636. Cos[7[t]] x'[t]-0.189036 (2.612154106
Cos[7[t]]-2.372384106 Sin[7[t]]+647636. x'[t]))
0.036365 (2.612154106 Cos[7[t]]-2.372384106
Sin[7[t]]+647636. x'[t])
0.036365 (2.612154106 Cos[7[t]]-2.372384106
Sin[7[t]]+647636. x'[t])+0.192371 (647636. Cos[7[t]] x'[t]-0.189036 (2.612154106
Cos[7[t]]-2.372384106 Sin[7[t]]+647636. x'[t]))
140200 x''[t]
753032. Sin[7[t]]+12.8429 x'[t]+0.036365 (2.612154106 Cos[7[t]]-
2.372384106 Sin[7[t]]+647636. x'[t])+0.192371 (647636. Cos[7[t]] x'[t]-
0.189036 (2.612154106 Cos[7[t]]-2.372384106 Sin[7[t]]+647636.
x'[t]))+140200 x''[t]
{Plot[FK/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All,
GridLines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","FK,
H"}],Plot[Fn/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All,
GridLines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","Fn,
H"}],Plot[FV/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All,
GridLines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","FV, H"}],Plot[-
Fi/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All, Grid-
Lines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","Fi, H"}],Plot[-
RF/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All, Grid-
Lines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","RF,
H"}],Plot[RR/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All,
GridLines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","RR,
H"}],Plot[Ft/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All,
GridLines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","Ft,

```

```
H"}],Plot[fk/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All,
GridLines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","fk"}]}
```

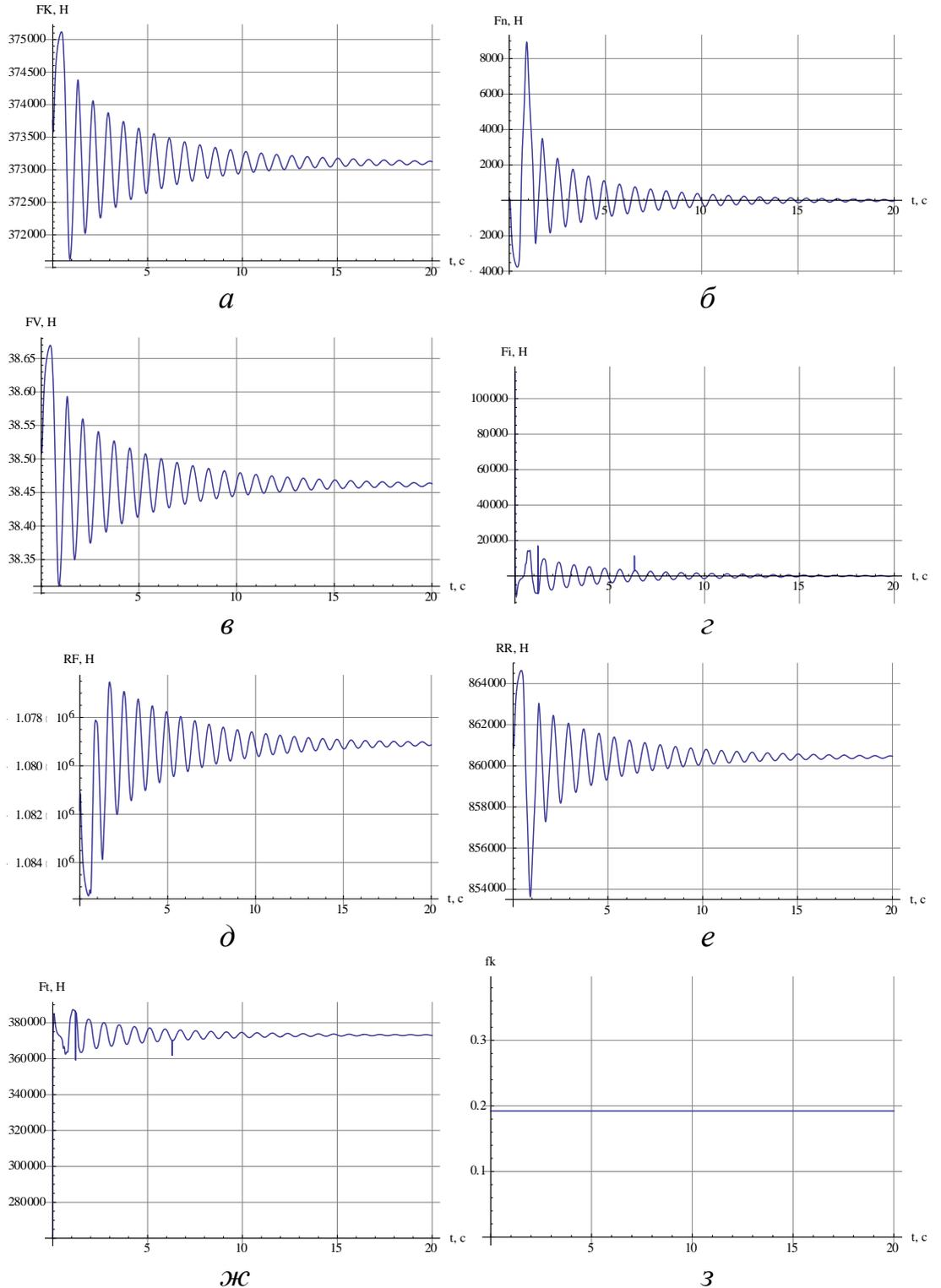


Рисунок Е.4 – Графики промежуточных исследований движения автосамосвала традиционной конструкции: *а* – сила сопротивления качению; *б* – сила сопротивления подъему; *в* – сила сопротивления воздуха; *г* – сила инерции всей системы; *д* – реакция передней оси; *е* – реакция задней оси; *ж* – сила тяги всей системы; *з* – коэффициент сопротивления качению

```

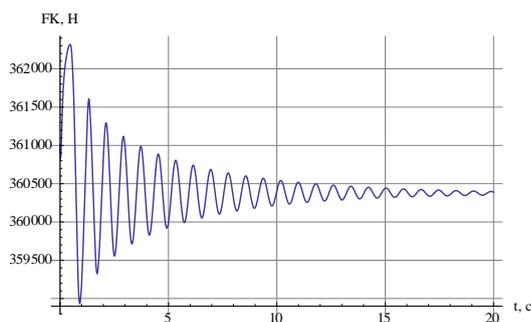
*Reaction to the front axle with equipment*)
(*x=8;speed of the dump*)
RRc=1/Widthc ((mfw r+JyFW/r+mrw r+JyRW/r+mb cc)x'[t]+GB
Cos[φ[t]] ac-GB Sin[φ[t]] -GFW r Sin[φ[t]]+ GRW Cos[φ[t]]
Widthc-GRW r Sin[φ[t]])
(*Reaction to the rear axle*)
RFc=(mfw r+JyFW/r+mrw r+JyRW/r+mb cc)x'[t] Cos[φ[t]]-RRc
(*Rolling resistance with equipment*)
Fkc1=fk RFc
Fkc2=fk RRc
FKc=Fkc1+Fkc2
(*Traction force*)
Ftc=FKc+Fn+FV+Fi
0.168067 (2.643084106 Cos[7[t]]-805011.
Sin[7[t]]+625536. x'[t])
625536. Cos[7[t]] x'[t]-0.168067 (2.643084106 Cos[7[t]]-805011.
Sin[7[t]]+625536. x'[t])
0.192371 (625536. Cos[7[t]] x'[t]-0.168067 (2.643084106
Cos[7[t]]-805011. Sin[7[t]]+625536. x'[t]))
0.0323313 (2.643084106 Cos[7[t]]-805011.
Sin[7[t]]+625536. x'[t])
0.0323313 (2.643084106 Cos[7[t]]-805011.
Sin[7[t]]+625536. x'[t])+0.192371 (625536. Cos[7[t]] x'[t]-0.168067 (2.643084106
Cos[7[t]]-805011. Sin[7[t]]+625536. x'[t]))
753032. Sin[7[t]]+12.8429 x'[t]+0.0323313 (2.643084106
Cos[7[t]]-805011. Sin[7[t]]+625536. x'[t])+0.192371 (625536. Cos[7[t]]
x'[t]-0.168067 (2.643084106 Cos[7[t]]-805011. Sin[7[t]]+625536.
x'[t]))+140200 x''[t]

```

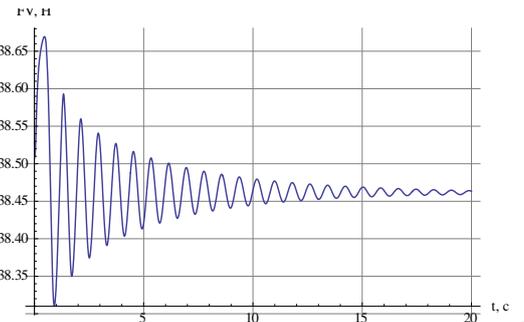
```

{Plot[FKc/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All, Grid-
Lines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","FK,
H"}],Plot[FV/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All,
GridLines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","FV,
H"}],Plot[RFc/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All, Grid-
Lines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","RF,
H"}],Plot[RRc/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All, Grid-
Lines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","RR,
H"}],Plot[{Ftc,Ft}/.solution,{t,0,Tcrit}, PlotRange→All,
GridLines→Automatic,AxesLabel→{"t, c","Ft,Ft, H"}]}

```



a



б

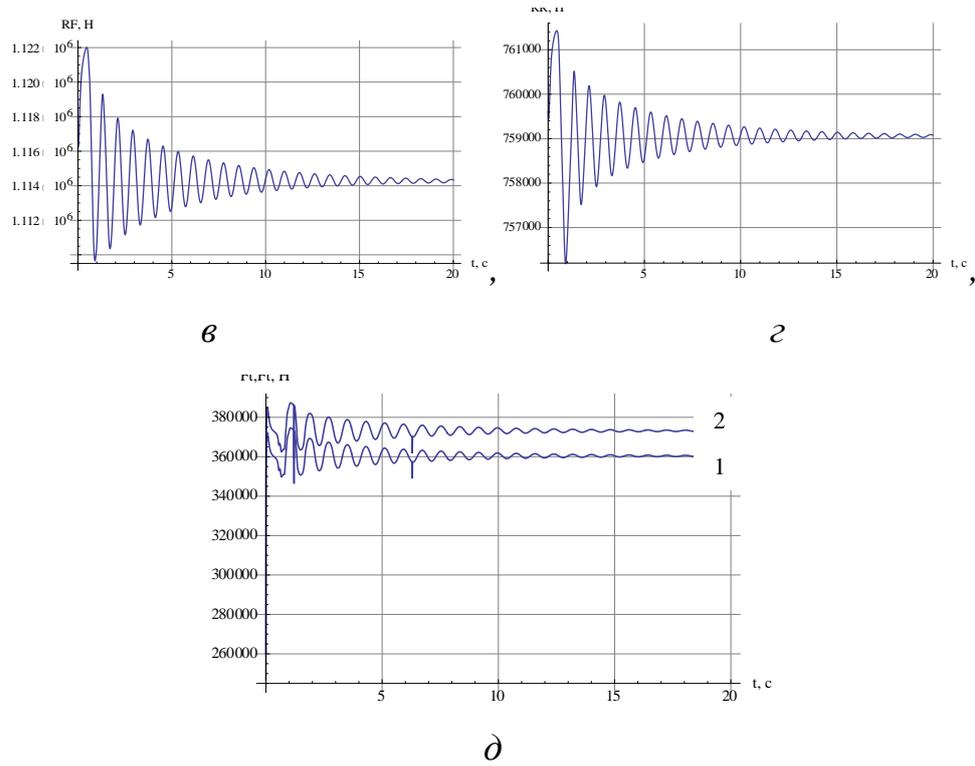
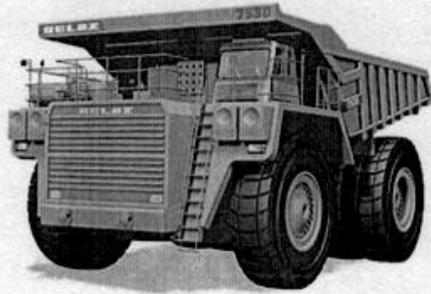


Рисунок Е.5 – Графики промежуточных исследований движения автосамовала с МЦМ: *a* – сила сопротивления качению; *b* – сила сопротивления воздуха; *v* – реакция передней оси; *z* – реакция задней оси; *d* – сила тяги всей системы: 1 – с МЦМ, 2 – традиционной конструкции

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
Справка о рассмотрении результатов диссертационной работы
ООО «БЕЛАЗ ТЕХНОСЕРВИС»



ТОВ «БІЛАЗ ТЕХНОЦЕНТР»

Адреса юридична: 49000 Україна

м. Дніпропетровськ

вул. Верхоянська, буд 49

СДРПОУ 3645581

ИНН 364955804632

св-во № 100235814

тел.(056) 786-00-60

Вих. 11/04-11 від «11» квітня 2014

Довідка

щодо розгляду результатів дисертаційної роботи

Кривди Віталія Валерійовича

Результати дисертаційної роботи Кривди В.В. розглянуто на технічній раді ТОВ «БІЛАЗ ТЕХНОЦЕНТР». Запропонована в дисертаційній роботі і патенті № 102793 автором конструкція задньої підвіски - механізм зміни положення центру мас і міжосьової відстані, представляє науковий і практичний інтерес, є технологічною, працездатною і може бути врахована при подальшому удосконаленню конструкції автосамоскидів Білаз.

Директор
Вик. Сокол В.Г.



Шавріна В.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Зависимость доли пройденного расстояния от величины продольного уклона дороги на условленную высоту, при равных тягово-скоростных параметрах работы привода карьерного автосамосвала

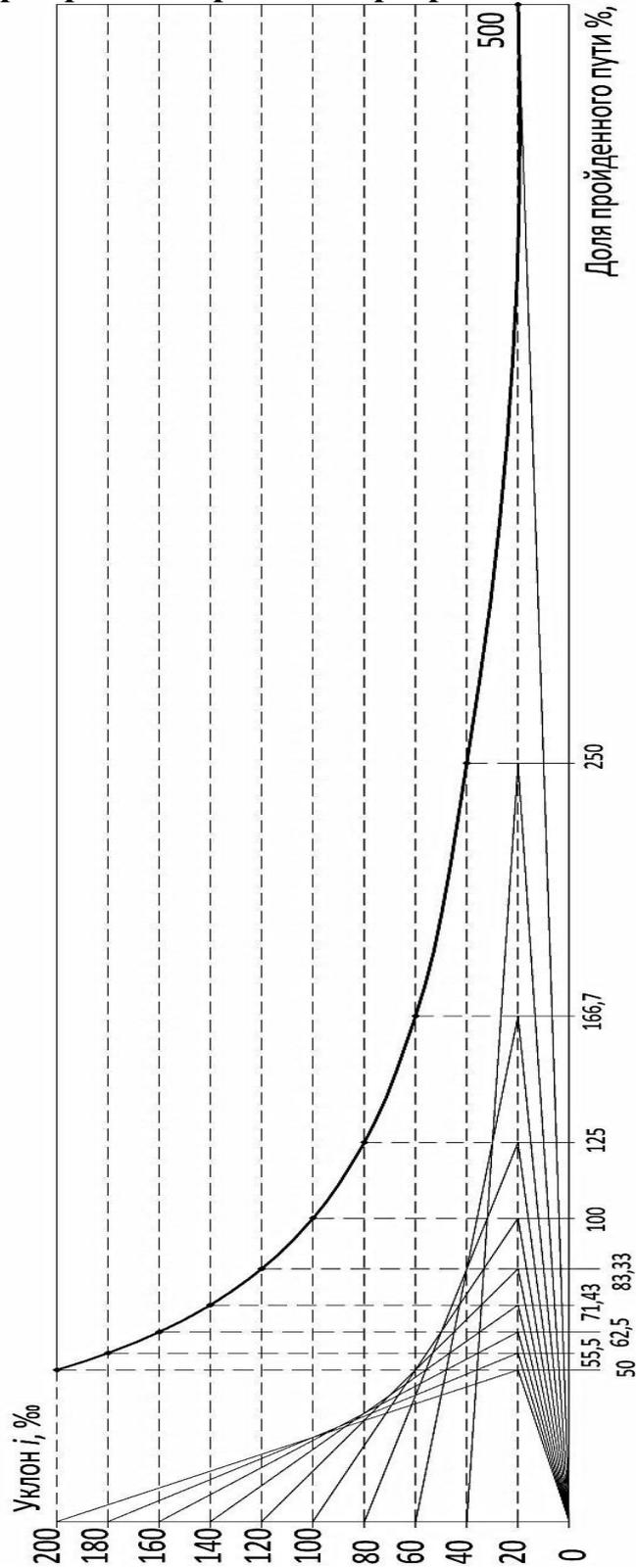


Рисунок 3.1 – Доля пройденного расстояния от величины продольного уклона дороги

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе
ИГТМ им. Н.С. Полякова
НАН Украины
докт. техн. наук



« » А. П. Круковский
2014 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ДВНЗ «НГУ»
член-корреспондент НАН Украины,
профессор



« » А.С. Бешта
2014 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ

Днепропетровск 2014

УДК 622.271: 622.62

Рекомендации по определению рациональных параметров систем разработки глубоких карьеров с учетом применения транспортного оборудования нового технического уровня / К.М. Басс, В.В. Кривда, Е.А. Бубнова, Е.В. Бабий, Е.С. Левченко. - ГВУЗ «НГУ» - ИГТМ м. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепрпетровск.- 2014.- 19 с.; ил.10, табл. 3, список лит. 6 (назв.).

Настоящие рекомендации разработаны научными сотрудниками и специалистами Государственного ВУЗ «Национальный горный университет» и Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины на основании теоретических и экспериментальных исследований в области развития перспектив горно-металлургического комплекса Украины и передовых энерго- и ресурсосберегающих технологий.

В основу рекомендаций положены установленные взаимосвязи между технико-эксплуатационными возможностями карьерных автосамосвалов и параметрами систем разработки глубоких карьеров.

Данные рекомендации позволяют выбрать рациональное соотношение параметров применяемого автомобильного транспорта, оборудованного механизмом изменения положения центра масс и межосевого расстояния, и таких параметров систем разработки как уклоны карьерных автодорог, размеры площадок для размещения петли поворота трассы, рациональная длина транспортирования и высота подъема горной массы, углы наклона бортов карьера и сокращение объемов вскрышных работ при оптимизации рабочего пространства карьера.

Рекомендовано к использованию проектными институтами для определения параметров разработки глубоких горизонтов карьеров для обеспечения положительной экономической эффективности и увеличения продолжительности эксплуатации карьеров.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом осуществляется с помощью различных видов транспорта: автомобильного, железнодорожного, конвейерного, гидротранспорта и их комбинирования. При добыче железных руд и транспортировании вскрышных пород с глубоких горизонтов все шире используют комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт, т.е. такую транспортную систему, при которой зона работы конвейерного транспорта увеличивается в соответствии с увеличением глубины карьера, а зона работы автомобильного транспорта перемещается при постоянном заданном расстоянии транспортирования. Несмотря на то, что зона работы конвейерного и железнодорожного транспорта увеличивается, область применения автомобильного транспорта не уменьшается.

При небольших расстояниях транспортирования автосамосвалами и высокой производительности железнодорожного и конвейерного транспорта применение комбинированного вида транспорта позволяет улучшить технико-экономические показатели добычи полезных ископаемых на глубоких горизонтах.

Для условий отработки глубоких горизонтов карьера повышение объемов добычи руд без увеличения вскрыши возможно за счет увеличения углов наклона бортов карьера, что возможно при уменьшении ширины и сокращения длины автомобильных дорог. Поскольку перечисленные величины нормируются с учетом техники безопасности выполнения работ и, в первую очередь, техническими возможностями применяемого автомобильного транспорта, то решение проблемы возможно путем совершенствования автотранспорта.

При условии использования одних и тех же моделей автосамосвалов изменить указанные параметры невозможно.

Для решения этой задачи разработана конструкция механизма изменения центра масс и межосевого расстояния для карьерного автосамосвала большой грузоподъемности типа БелАЗ с электромеханической трансмиссией [1].

В результате исследований и математического моделирования установлен ряд взаимосвязей между эксплуатационно-техническими характеристиками карьерных автосамосвалов и параметрами систем разработки глубоких карьеров, которые позволяют найти рациональное соотношение между этими параметрами, обеспечивающее максимальную выемку запасов полезного ископаемого при минимальных вскрышных работах.

И.1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМА ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС И МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ ДЛЯ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ

Для рационального использования эксплуатационных параметров карьерного автосамосвала (КАС) с электромеханической трансмиссией создан механизм, позволяющий изменять в необходимое положение центр масс КАС и межосевое расстояние - механизм изменения центра масс (МЦМ) (рис.И.1) [1].

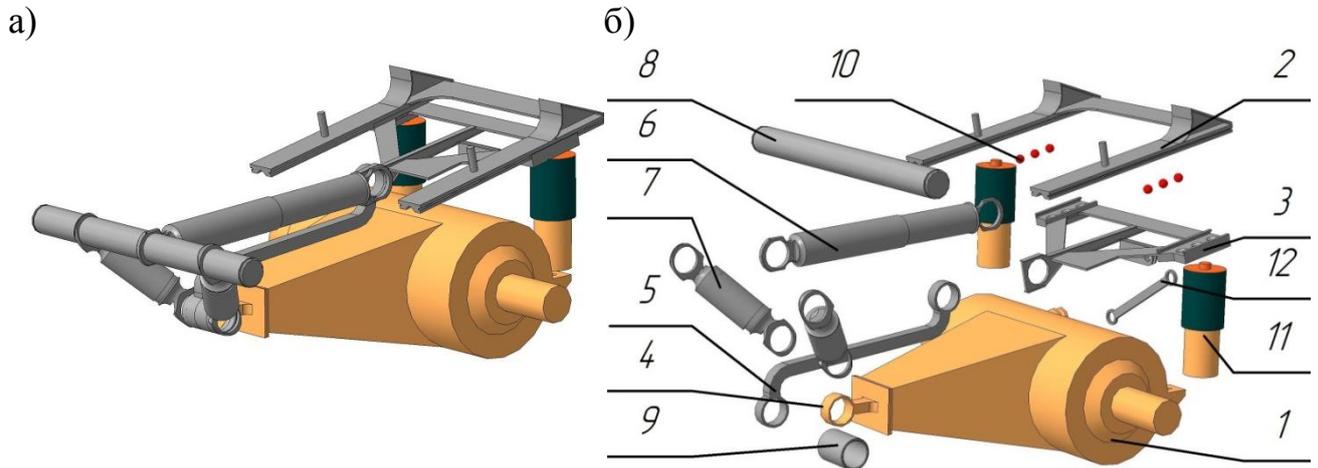


Рис. И.1 – Конструктивная схема навесного оборудования, для задних мостов карьерного автосамосвала: а) в сборе; б) развёрнутая:

1–задний ведущий мост со встроенными в ступицы тяговыми электродвигателями; 2–направляющие салазки; 3–ползун; 4–проушина косынки ведущего моста; 5–штанга; 6–гидроцилиндр ползуна; 7–гидроцилиндр косынки ведущего моста; 8–шток; 9–втулка; 10–шарик; 11–упругий, демпфирующий элемент; 12–поперечная тяга.

МЦМ включает в себя: направляющие салазки, по которым перемещается ползун, с возможностью закрепления на нем упругих демпфирующих элементов, связанный штангой с гидроцилиндром продольного рычага и гидроцилиндром ползуна, которые ориентируют ползун с задним мостом в продольном направлении и фиксацией в заданном положении, в пазах которого установлены тела качения.

Приспособляемость подрессоренной конструкции определяется позиционированием тел качения, установленных в конических отверстиях ползуна, по пазам салазок прямоугольного сечения МЦМ. Преимуществами конструкции выступают:

- постоянное восприятие нагрузки, передаваемой от перевозимого груза, в любом положении ползуна за счет тел качения;
- уменьшение статической и динамической нагрузки в результате возможности более равномерного распределения нагрузки на соединительные звенья рамы автосамосвала в связи с понижением центра масс автосамосвала;
- улучшение кинематической характеристики подвески колес;
- снижение временных затрат на транспортировку груза в связи с возможностью увеличением среднетехнической скорости и продольного уклона.

Универсальность МЦМ, простота сборки и обслуживания с учетом малой массы и хорошей компоновки, улучшение плавности хода – все это позволяет применять данную конструкцию к подвескам автомобилей–самосвалов большой и особо большой грузоподъемности, работающих при транспортировании пород в карьерах. Применение системы МЦМ позволяет сохранить устойчивость и необходимую силу тяги на подъем, и увеличить маневренность при заезде КАС с электромеханической трансмиссией на площадку под погрузку и разгрузку горной массы, а также при движении в стесненных условиях по карьерным дорогам.

Принцип работы навесного оборудования (см. рис. И.1) следующий.

Во время рабочего процесса при движении груженого горной массой автосамосвала или в порожнем состоянии, для увеличения устойчивости и понижения центра тяжести, с помощью гидроцилиндра 7 (см. рис. И.1 б) ползуна 3 и гидроцилиндров 7, звена навесного устройства подвески происходит позиционирование заднего ведущего моста 1 и упругого демпфирующего элемента 11 с помощью продольных рычагов 4 и штанги 5. Тем самым рама карьерного автосамосвала нагружается более рационально, улучшается кинематическая характеристика подвески колес, МЦМ выполняет роль стабилизатора поперечной устойчивости, что в комплексе позволяет более рационально выбрать скоростной режим перемещения автосамосвала.

Фактически происходит перемещение заднего моста 1 (см. рис.И.1) при постоянном восприятии нагрузки телами качения 10, установленных в конических отверстиях ползуна 3 по пазам салазки 2 прямоугольного сечения, приводя к понижению центра тяжести автосамосвала и увеличению устойчивости.

Размещение механизма на раме карьерного автосамосвала БелАЗ 7519 показано на рисунке И.2.

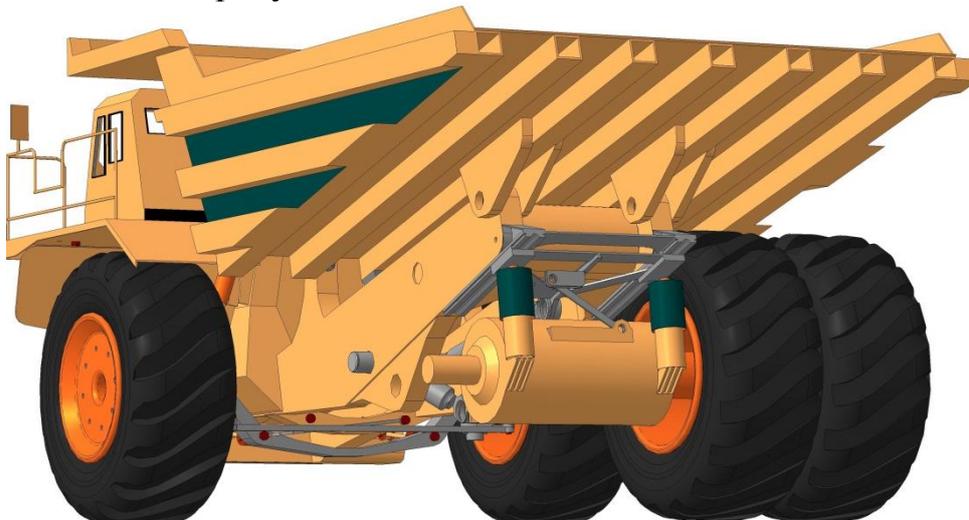


Рис.И.2 – МЦМ на раме автосамосвала: вид автосамосвала сзади с МЦМ

Такая конструкция может быть применена и к самосвалам других моделей.

Безопасность и работоспособность предложенной конструкции подтверждена результатами 3D моделирования в программных продуктах "Wolfram Mathematics" и п/п "Universal Mechanism" (моделирование выполнено на основании экспериментальных исследований).

И.2 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АВТОСАМОСВАЛОВ С МЕХАНИЗМОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС И МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

На основании исследований и данных моделирования движения автосамосвала с МЦМ по внутрикарьерным дорогам рекомендуется следующая схема (рис.3) движения автосамосвала при его различных состояниях (порожнее, груженое) и направлении перемещении груза (на спуск, на подъем).

На рис. И.3 изображен технологический процесс включения в работу МЦМ.

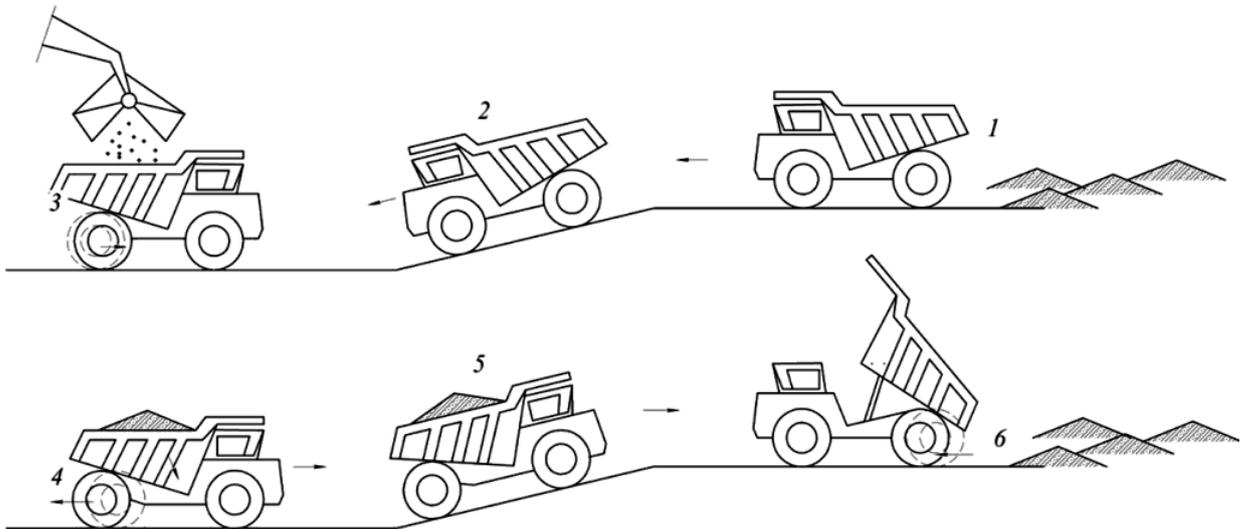


Рис.И.3 – Технологическая схема рабочего процесса транспортировки горной массы автосамосвалом с МЦМ

- 1 – Движение порожнего автосамосвала с отвала в карьер;
- 2 – Обычное ничем не лимитирующее состояние;
- 3 – Сокращение межосевого расстояния под маневр;
- 4 – Увеличение межосевого расстояния;
- 5 – Движение автосамосвала с увеличенным межосевым расстоянием и пониженным центром масс, для безопасного преодоления карьерной дороги с большим продольным уклоном;
- 6 – Сокращения межосевого расстояния при маневре под разгрузку.

Порожний и груженный автосамосвал передвигается по прямолинейным участкам в обычном состоянии.

Межосевое расстояние необходимо уменьшать при:

- приближении и движении по криволинейному участку, которые обычно располагаются на горизонтальном промежутке трассы, что обеспечит минимальный радиус поворота;

- при маневрировании под погрузку и разгрузку, что обеспечит минимальные радиус поворота и соответственно размеры рабочей площадки.

Межосевое расстояние необходимо увеличивать при движении груженого автосамосвала на подъем, что позволит увеличить силу тяги и преодолеваемый уклон дороги.

Предлагаемая схема движения автосамосвала обеспечит рациональное использование его технических возможностей, позволит сократить ширину автодорог на криволинейных участках трасс за счет уменьшения радиуса разворота, увеличить угол уклона карьерных дорог и сократить их протяженность или увеличить возможную высоту подъема горной массы.

И.3 РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОСАМОСВАЛОВ С МЦМ

И.3.1 Технологически возможные радиусы разворота автосамосвалов с МЦМ

В зависимости от модели применяемого автосамосвала определяется радиус его поворота и разворота, установленный заводом-изготовителем.

Установлено, что при уменьшении межосевого расстояния радиус поворота также уменьшается, а при увеличении межосевого расстояния – соответственно радиус увеличивается.

На рис. И.4 приведены схемы движения автосамосвала по криволинейному участку дороги в момент рабочего процесса, где радиус поворота автосамосвала БелАЗ 7512 без МЦМ, $R_{\min-max}=13-13,3$ м; радиус поворота автосамосвала БелАЗ 7512 с МЦМ, $R_{\min-max}=10-14,4$ м [2].

Для уменьшения радиуса поворота на 3 м необходимо сократить межосевое расстояние на 0,9 м (см. рис. 4а). Максимально возможное изменение межосевого расстояния для БелАЗ моделей 7512-7513 равно 1,5 м, при этом радиус поворота изменяется от 10 до 14,4 м.

Для увеличения радиуса поворота автосамосвала на 1,4 м (максимально возможное для БелАЗ моделей 7512-7513) необходимо увеличить межосевое расстояние на 0,60 м (см. рис. И.4 в).

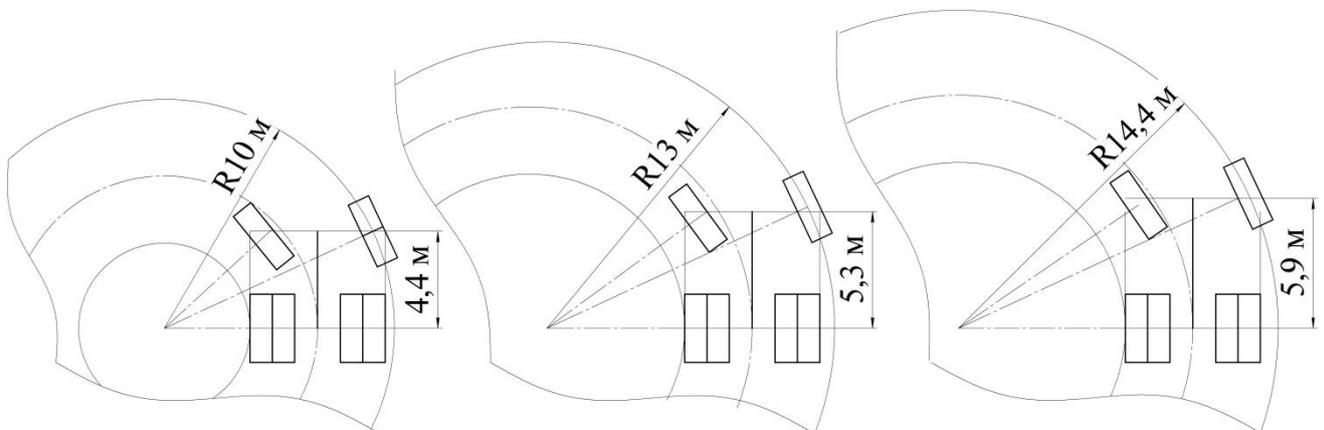


Рис. И.4 – Расчетно-конструктивная схема поворота во время движения карьерного автосамосвала с МЦМ: а – сокращенное межосевое расстояние, б – нормальное состояние, в – увеличенное межосевое расстояние

Величина радиуса разворота автосамосвала при регулировании с помощью МЦМ межосевого расстояния определяется по формуле

$$R = a \cdot \ln l + b \quad (\text{И.1})$$

где R – радиус разворота автосамосвала;

a и b – коэффициенты, зависящие от модели и конструкции автосамосвала;

l – межосевое расстояние.

Для автосамосвалов БелАЗ моделей 7512-7513 коэффициенты a и b соответственно равны 1,71 и 12,08. Для автосамосвалов других моделей коэффициенты должны определяться по результатам моделирования [3] или экспериментов.

Изменяя межосевое расстояние карьерного автосамосвала, можно уменьшить радиусы поворотов под погрузку и разгрузку, а так же радиусы криволинейных участков транспортной бермы. Это позволяет существенно сократить размеры транспортных и рабочих площадок .

И.3.2 Рациональные уклоны автомобильных дорог при использовании автосамосвалов с МЦМ

Предлагаемый механизм изменения центра масс [1] позволяет увеличить силу тяги автосамосвала на 11-25 %, что способствует увеличению преодолеваемого уклона дороги на подъем.

В настоящее время на железорудных карьерах принят уклон автодорог в среднем 100-120 ‰. Применение автосамосвалов с МЦМ позволит увеличить его в 2-3 раза.

По результатам исследований тяговых характеристик автосамосвала и мер безопасности обоснованы приращение силы тяги и продольного уклона транспортных коммуникаций, что позволило рассчитать рекомендуемые значения уклонов для глубоких горизонтов карьера (см. табл. И.1)

Таблица И.1 – Рекомендуемые уклоны продольных дорог по критерию силы тяги автосамосвала

Продольные уклоны автомобильных дорог на глубоких горизонтах карьера, ‰		Сила тяги автосамосвала,		
проектные	рекомендуемые	увеличение силы тяги от проектного угла, %	при проектном уклоне i , Ft, кН	при рекомендованном уклоне i , Ft, кН
1	2	3	4	5
70	87,5	25	160	200
80	98,48	23,1	180	221,58
90	109,26	21,4	200	242,8
100	119,7	19,7	220	263,34

Продолжение табл И.1

1	2	3	4	5
110	129,8	18	240	283,2
120	139,56	16,3	260	302,38
130	148,98	14,6	280	320,88
140	158,06	12,9	300	338,7
150	166,8	11,2	320	355,84

Рассчитанные рекомендуемые продольные уклоны постоянных технологических автомобильных дорог рационально применять при дальнейшем проектировании развития горных работ, подвигании борта и формировании транспортных коммуникаций. Применение рассчитанных величин продольных уклонов для временных дорог с ограниченным сроком эксплуатации на глубоких горизонтах возможно при очередном вскрытии горизонта. Рекомендуемые значения продольных уклонов автодорог также рационально применять при проектировании нового карьера.

И.3.3 Рациональная высота подъема груза и длина транспортирования

При применении МЦМ на автосамосвалах возможно увеличить уклон дорог (см. п. И.3.2), что уменьшит длину транспортирования горной массы автосамосвалами.

Поскольку длина транспортирования горной массы по внутрикарьерным дорогам лимитируется условиями безопасного движения автотранспорта на подъеме (без перегрева двигателя), то сокращение длины транспортирования при повышенном уклоне дорог позволит увеличить высоту подъема горной массы до перегрузочного пункта, то есть можно будет на некоторую величину произвести углубку карьера без переноса перегрузочного пункта на нижележащие горизонты.

Рациональная высота подъема горной массы автосамосвалами с МЦМ определяется по выражению

$$H_{\text{п}} = \frac{L_0 \cdot i}{\frac{l_r \cdot i}{h_э} + 1}, \quad (\text{И. 2})$$

где L_0 – общая длина транспортирования горной массы автосамосвалами; i – усредненный продольный уклон автодороги; l_r – длина единичного горизонтального участка дороги между участками подъема, обоснованная исходя из безопасности движения автосамосвала; $h_э$ – высота, на которую может поднять груз автосамосвал без горизонтальной вставки, м.

На рис. 5 приведена зависимость рациональной высоты подъема горной массы и уклонов автодорог.

Из приведенных зависимостей следует, что применение автосамосвалов с МЦМ позволяет за счет увеличения уклонов автодорог углубить карьер без переноса перегрузочного пункта за счет сокращения длины транспортирования.

При условии сохранения постоянным значение высоты подъема горной массы применение автосамосвалов с МЦМ позволяет сократить длину транспортирования (см. рис. И.6). Так при увеличении уклона автодороги на 66 % уменьшается длина транспортирования на 40%.

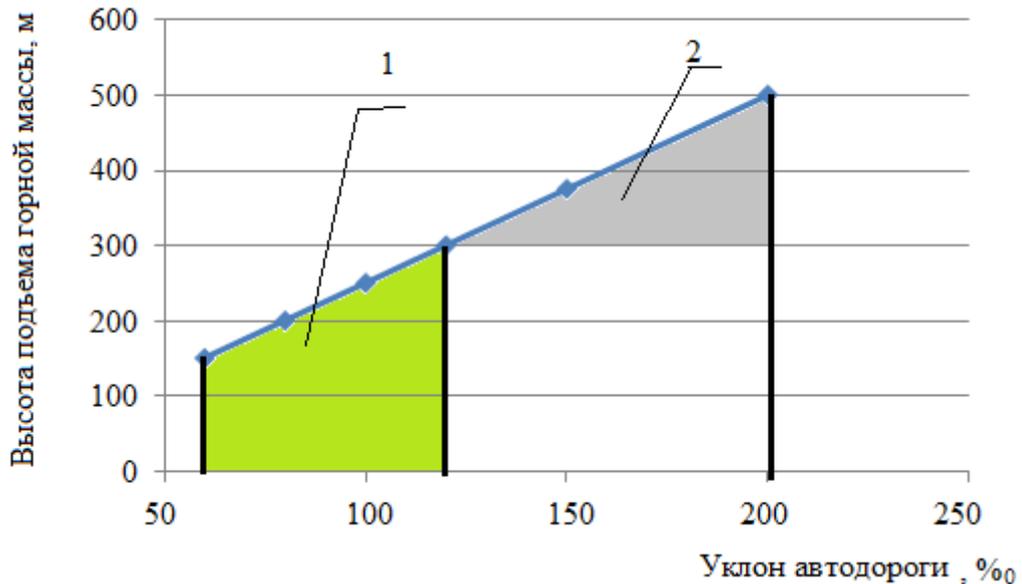


Рис. И.5— Зависимость рациональной высоты транспортирования горной массы при существующих уклонах дорог (1) и увеличенных (2) за счет применения автосамосвалов с МЦМ от уклона дороги для длины транспортирования 3,0 км.

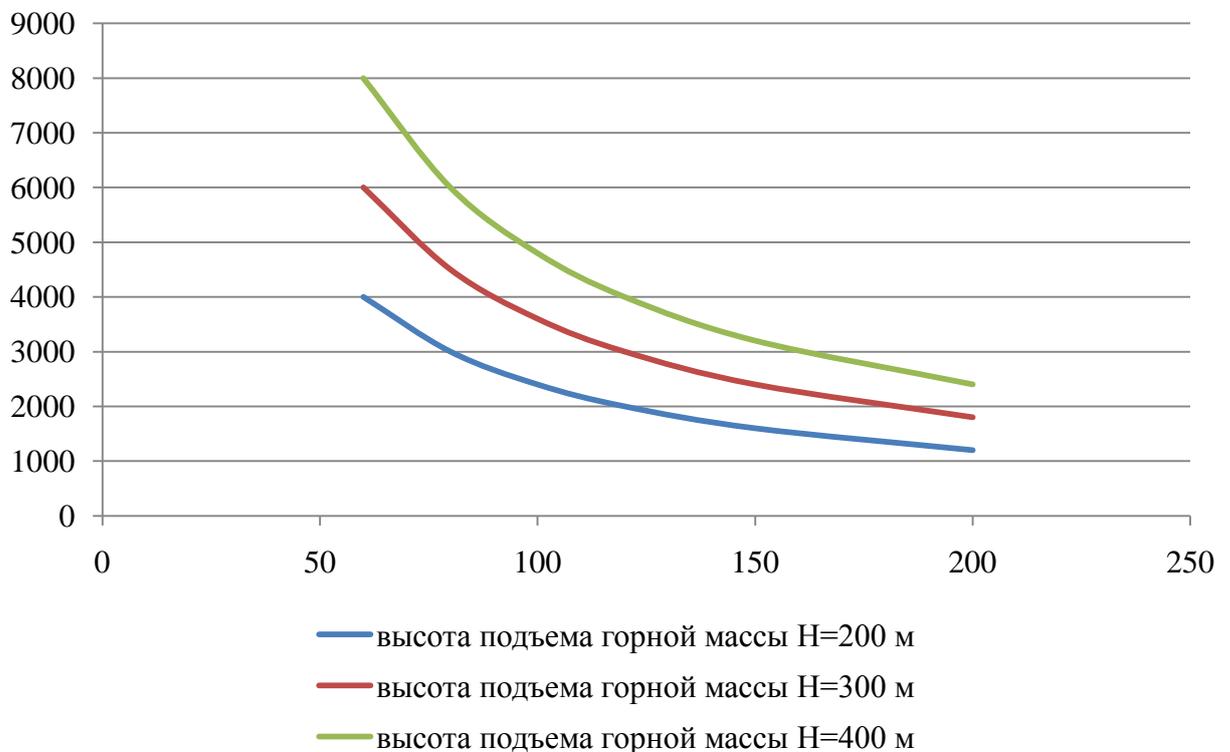


Рис. И.6 – Графики сокращения длины транспортирования горной массы при увеличении продольного уклона автодороги

Положительным эффектом сокращения общей длины транспортирования горной массы по внутрикарьерным дорогам является уменьшение количества транспортных берм, что способствует возможности вскрытия законсервированных под ними запасов с минимальным объемом вскрыши.

И.3.4 Параметры криволинейных участков внутрикарьерных дорог

Площадка для размещения петли поворота дороги - это участок автодороги, состоящий из двух проезжих частей (одно- или двухполосных) и криволинейного участка, который определяется исходя из конструктивных особенностей применяемых самосвалов на этом участке дороги. Ширина площадки для размещения петли поворота дороги определяется из выражения

$$Ш_{разв.пл.} = 2Ш_a + Ш_{разв.} \quad (И.3)$$

где $Ш_{разв.пл.}$ – ширина площадки для размещения петли поворота дороги, м;

$Ш_a$ – ширина проезжей части автодороги, м;

$Ш_{разв.}$ – ширина криволинейного участка, определяемая радиусом разворота автосамосвала, м. Согласно нормативным документам [5] «в особенно ограниченных условиях на внутрикарьерных и отвальных дорогах минимальный радиус горизонтальной кривой допускается принимать не меньше 2-х конструктивных радиусов поворота для одиночных карьерных автомобилей и не меньше 3 – для тягачей с полуприцепами».

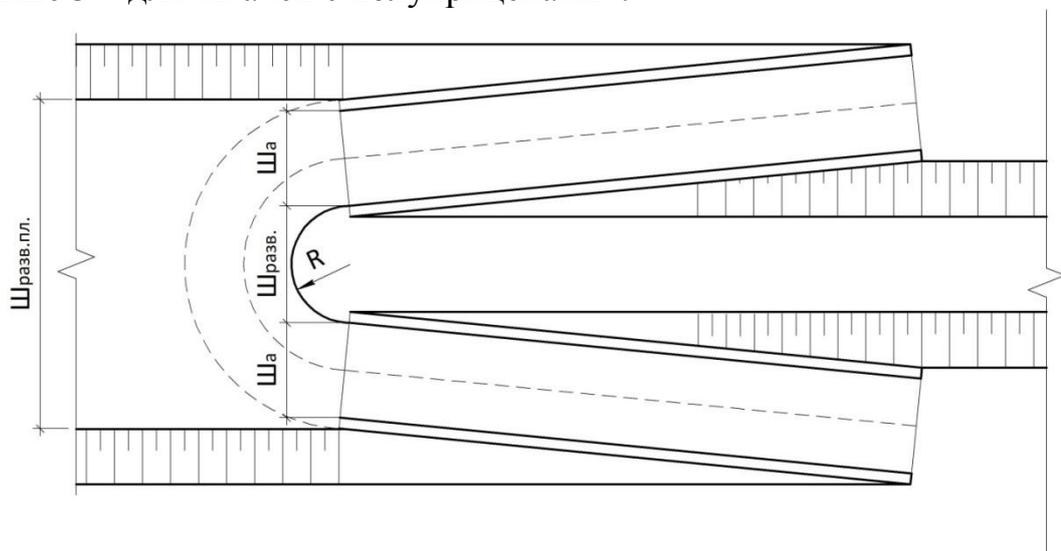


Рис. И.7 – Схема внутрикарьерной площадки для разворота автомобилей

Таким образом, уменьшение ширины площадки для размещения петли поворота дороги возможно за счет уменьшения ее основных параметров: ширины проезжей части и криволинейного участка.

Ширина проезжей части дороги определяется габаритными размерами автосамосвала, количеством полос движения и размерами берм безопасности.

$$Ш_{a.д.} = 2(a + y) + x, \quad (И.4)$$

где a – ширина автосамосвала, м;

x – ширина между кузовами встречных автосамосвалов, м, определяется по выражению

$$x = 2y,$$

y – ширина обочин, м, определяется по выражению

$$y = 0,5 + 0,05 v,$$

где v – скорость движения автомобиля, км/ч.

Таким образом, ширина проезжей части прямо пропорционально зависит от ширины автосамосвала и скорости его движения

Согласно [5] для БелАЗа 75131 грузоподъемностью 130 т, у которого ширина по зеркалам 7000 мм, по кузову 6400 мм, ширина проезжей части должна быть не меньше величин указанных в таблице И.2. В зависимости от глубины разработки допустимая ширина проезжей части отображена на рис. И.8.

Таблица И.2 - Ширина проезжей части при одно- и двухполосном движении автомобилей

Параметры поперечного профиля	Значения параметров для дорог категории											
	I-к				II-к				III-к			IV-к
	при условии расположения автодороги на глубине карьера, м											
	до 50	50 - 100	100 - 200	более 200	до 50	50 - 100	100 - 200	более 200	до 50	50 - 100	более 100	любая глубина
Количество полос движения	2	2	2	2	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
Ширина проезжей части, м для автомобиля шириной, м												
6,4	25,0	22,5	20,0	19,0	24,0/9,0	22,0/9,0	19,5/9,0	18,5/9,0	23,0/8,5	20,0/8,5	18,0/8,5	17,0/8,5
7,8	31,0	29,0	25,0	24,0	30,0/10,5	28,0/10,5	24,5/10,5	23,5/10,5	29,0/10,0	26,0/10,0	23,0/10,0	21,5/10,0

Скорость движения автосамосвала в карьере определяется конфигурацией дороги и условиями безопасности.

На криволинейных участках скорость движения зависит от конструктивного радиуса поворота автосамосвала (см. рис. И.9).

Таким образом, при рассмотрении ширины автодороги под БелАЗ 75131 с МЦМ, примыкающей к круговым участкам дороги и серпантинам, предлагается принять ее равной 18-18,5, что подтверждается результатами [6].

При принятой ширине проезжей части, равной 18,5 м, ширина площадки для размещения петли поворота дороги при разных радиусах поворота автосамосвала будет равна значениям, приведенным в таблице И.3.

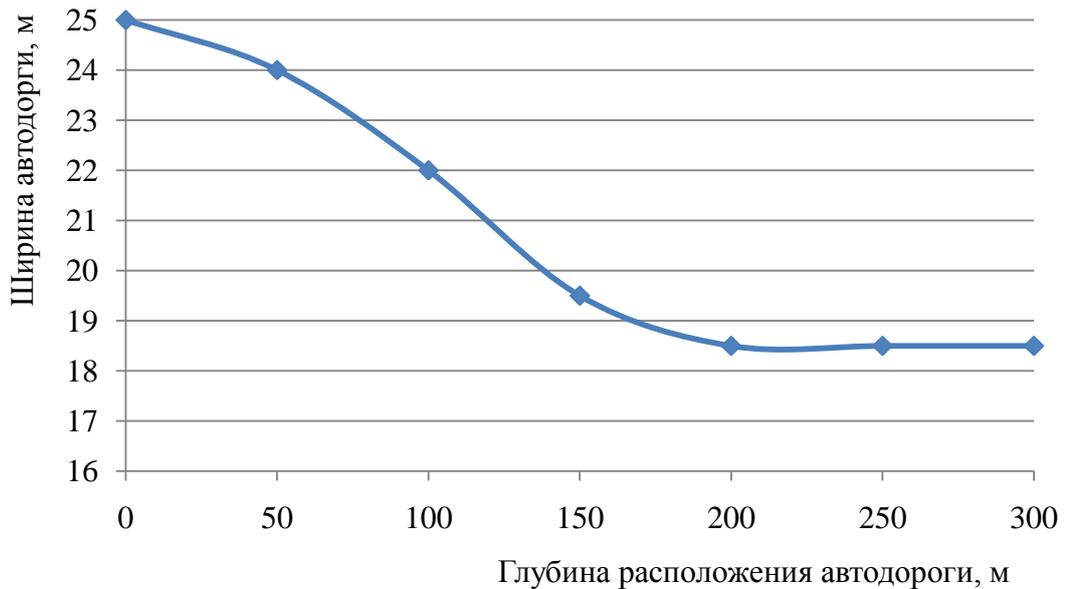


Рис. И.8 – Ширина проезжей части в зависимости от глубины расположения автодороги

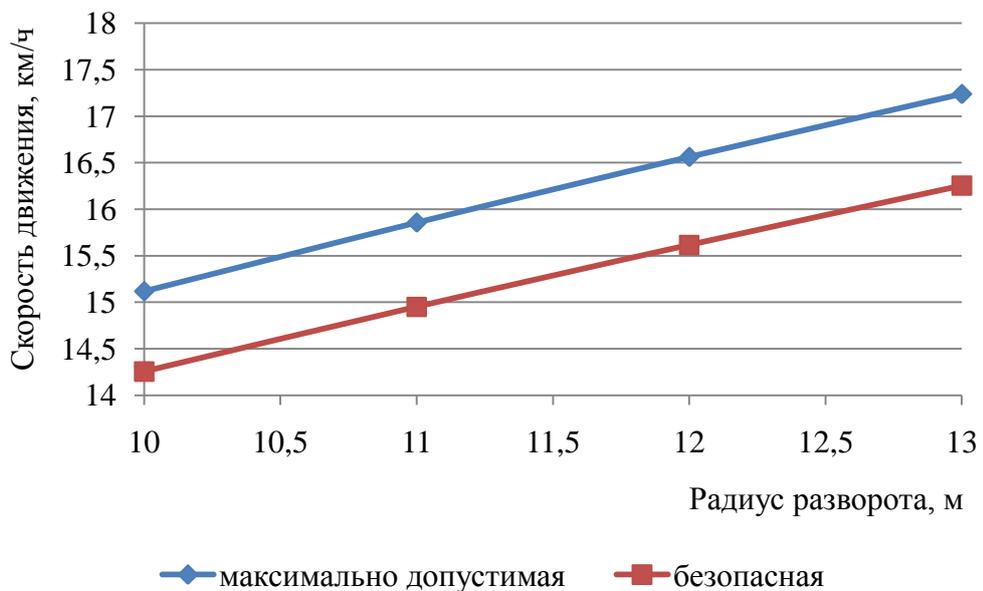


Рис. И.9 – Зависимость скорости движения от радиуса поворота автосамосвала

Таблица И.3 – Расчет ширины площадки для разворота автосамосвала

Ширина проезжей части, м	Водоотводящие сооружения, м	Ограждающий вал, м	Ширина бермы безопасности, м	Радиус разворота автосамосвала, м	Ширина круговой кривой	Ширина площадки для разворота автомобилей, м
18,5	2,5	4	3	13	26	72,5
18,5	2,5	4	3	12	24	70,5
18,5	2,5	4	3	11	22	68,5
18,5	2,5	4	3	10	20	66,5

Таким образом, величина ширины площадки для размещения петли поворота дороги может быть уменьшена на 6 м, что составляет 8,2 %. В соответствии с планами горных работ в пределах рабочего борта карьера применяют в среднем от 2-3 до 5-6 петлевых съездов. Экономический эффект от использования современной техники заключается в рациональном использовании внутрикарьерного пространства, возможности поставить борт под более крутым углом, уменьшить параметры автомобильных дорог, вскрыть дополнительные балансовые запасы.

И.3.5 Возможные угол наклона борта карьера, площадь вскрытых запасов и объем вскрышных работ при сокращении ширины и длины транспортных коммуникаций в карьере

Угол откоса нерабочего борта определяется по выражению

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \frac{k \cdot h_y}{(k - n)b_m + n \cdot Ш_p + k \cdot b_n + k \cdot h_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha'} \quad (\text{И.5})$$

где b_m и b_n – ширина соответственно транспортной и предохранительной берм

α – угол откоса уступа;

k – количество уступов на борту;

h_y – высота уступа;

n – количество площадок для размещения петли поворота дороги;

$Ш_p$ – ширина единичной площадки для размещения петли поворота дороги

При применении для транспортирования горной массы автосамосвалов с МЦМ возможно уменьшение площадки для разворота на величину x , изменяющуюся от 0 до 30%.

Тогда ширина площадки будет равна

$$Ш_{p,m} = Ш_p \cdot (1 - x)$$

Возможный угол откоса нерабочего борта при использовании автосамосвалов с МЦМ можно определить по выражению

$$\operatorname{tg} \gamma_{н.м} = \frac{k \cdot h_y}{(k - n)b_m + n \cdot III_p(1 - x) + k \cdot b_n + k \cdot h_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha'} \quad (\text{И.6})$$

Для условий отработки синклинальной складки уменьшение объемов вскрыши составит

$$S = 0.5 \cdot l_0 \cdot H \cdot L_\phi$$

где l_0 – основание треугольника (см. рис.10),

$$l_0 = k \cdot h_y (\operatorname{ctg} \gamma_n - \operatorname{ctg} \gamma_{н.м})$$

H – высота борта карьера, равная $H = k \cdot h_y$,

L_ϕ – длина фронта, на протяжении которого расположены площадки для разворота автосамосвалов.

Тогда S равна

$$S = 0.5 (k \cdot h_y)^2 \cdot (\operatorname{ctg} \gamma_n - \operatorname{ctg} \gamma_{н.м}) \cdot L_\phi$$

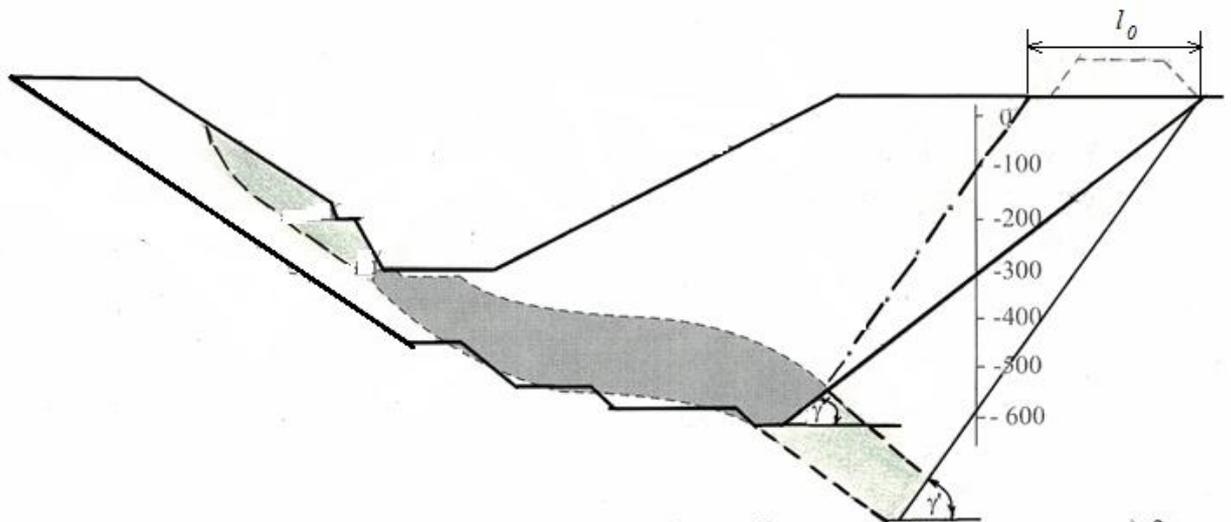


Рис.И.10 – Схема к определению уменьшения объемов вскрышных работ при отработке запасов с повышенным углом откоса нерабочего борта карьера

Тогда мощность вскрыши составит

$$V_M = 0.5 (k \cdot h_y)^3 \cdot (\operatorname{ctg} \gamma_n - \operatorname{ctg} \gamma_{н.м}) \cdot L_\phi,$$

а объем дополнительных вскрытых запасов

$$V_3 = l_0 \cdot m \cdot L_\phi$$

где m – мощность залежи, м

При отработке крутопадающей залежи

- прирост запасов определяется по выражению

$$V_{l_{д.з.}} = (H'_к - H_к) \cdot m \cdot L$$

- объем вскрышных пород

$$V_\partial = H_к^2 (\operatorname{ctg} \gamma' - \operatorname{ctg} \gamma) L$$

где L – длина карьерного поля на данном горизонте, м;

m – мощность пласта, м;

l – длина прироста запасов по падению залежи, м.

Таким образом, сокращение радиуса разворота автосамосвала и количества петлевых съездов (за счет увеличения уклона автодорог) позволяет увеличить угол откоса нерабочего борта карьера и с минимальным объемом вскрышных работ вскрыть законсервированные под транспортными коммуникациями запасы. Это позволяет увеличить площадь готовых к выемке запасов и продлить срок эксплуатации карьера.

ВЫВОДЫ

Основными параметрами карьерных автосамосвалов являются грузоподъемность, мощность двигателя, объем кузова, колесная формула, сила тяги и минимальный радиус поворота. Радиус разворота и возможная сила тяги обуславливаются величиной межосевого расстояния и для автосамосвалов определенной конструкции являются величинами постоянными. Таким образом, изменяя межосевое расстояние можно регулировать возможную силу тяги и радиус разворота автосамосвала.

Предложенная конструкция механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ), результаты применения которой промоделированы математически и в программном комплексе «Универсальный механизм», позволяет:

- регулировать межосевое расстояние базы автосамосвала;
- увеличение межосевого расстояния автосамосвала типа БелАЗ 7512-7513 позволяет увеличить силу тяги на 11-25 % и преодолеваемый уклон в 2-3 раза, а при движении по дороге с уклоном 70% значительно снижается потребная сила тяги, что позволит более экономично расходовать дизельное топливо;
- уменьшение межосевого расстояния автосамосвала на величину Δ равную 0,2 м позволяет уменьшить радиус его разворота на 1,1 м; максимально возможное изменение межосевого расстояния для БелАЗ моделей 7512-7513 равно 1,5 м, при этом радиус поворота изменяется на 4,4 м;
- безопасность движения автосамосвала по дорогам с увеличенным уклоном обеспечивается за счет увеличения угла опрокидывания.

На основе математического моделирования и горно-геометрического анализа получены взаимосвязи между параметрами систем разработки глубоких горизонтов карьера и эксплуатационно-техническими параметрами автосамосвала. Применение МЦМ на автосамосвалах типа БелАЗ 7512-7513 позволяет:

- увеличить продольный уклон внутрикарьерных автодорог с 120 до 200 ‰ что позволит увеличить высоту подъема горной массы на 200 м или сократить длину транспортирования до 40%;
- сократить радиус разворота автосамосвала и количество транспортных берм (за счет увеличения уклона автодорог), что в свою очередь приводит к увеличению угла откоса нерабочего борта карьера и сокращению объема вскрышных работ для вскрытия законсервированных под транспортными

коммуникациями запасов. Это позволяет увеличить площадь готовых к выемке запасов и продлить срок эксплуатации карьера.

Приведенные рекомендации к расчету параметров систем разработки при использовании для транспортирования горной массы автосамосвалов с МЦМ основаны на аналитических, теоретических и экспериментальных работах, могут быть применены для определения параметров разработки глубоких горизонтов карьеров, что обеспечит положительную экономическую эффективность и обеспечит увеличение продолжительности эксплуатации карьеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на корисну модель 79872 Україна, МПК кл. В 62 G 21/00 Задня підвіска вантажного автомобіля з електромеханічною трансмісією / К.А.Зіборов, Г.К. Ванжа, К.М. Бас, В.В. Кривда (UA).; заявл. 25.04.2013; опубл. 12.08.2013, Бюл. №15
2. Кривда, В.В. Параметры автомобильно-железнодорожной перегрузочной площадки при использовании карьерного автотранспорта с механизмом изменения центра масс / В.В. Кривда // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск:- 2013.- №111.- С. 58-66.
3. Басс, К.М. Плоскостное и пространственное математическое моделирование движения карьерного автотранспорта / К.М. Басс, В.В. Плахотник, В.В. Кривда // Науковий Вісник ДДМА. – 2013. – № 3 . – С56.
4. Басс, К.М. Применение механизма изменения положения центра масс (МЦМ) в карьерном автотранспорте в условиях повышенных уклонов автодорог / К.М. Басс, В.В. Плахотник, В.В. Кривда // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2013 – Вип.14 – С. – 5 – 9.
5. СОУ – Н МПП 73.020 – 078 – 2 : 2008 Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина II. Т.1 Відкриті гірничі роботи. – Київ, Міністерство промислової політики України, 2008. – 714 с.
6. Дриженко, А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д.: НГУ, 2011. – 542 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Методика определения оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ДВНЗ «НГУ»

член-корреспондент НАН Украины,
профессор



А.С. Бешта
» _____ А.С. Бешта
2015г.

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УКЛОНОВ
КАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГ ПО РАСХОДУ ТОПЛИВА КАРЬЕРНОГО
АВТОСАМОСВАЛА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕХАНИЗМА
ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС И МЕЖОСЕВОГО
РАССТОЯНИЯ**

Зав. каф. автомобилей и
автомобильного хозяйства
к.т.н., доцент

К.М. Басс

Ассистент каф. автомобилей и
автомобильного хозяйства

В.В.Кривда

Днепропетровск 2015

УДК 62-514.43

Методика определения оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния, ГВУЗ «НГУ», Днепропетровск, Украина, 2015.- 11 с.

Настоящая методика разработана в Государственном ВНЗ «НГУ» на основании теоретических исследований в области развития перспектив горно-металлургического комплекса Украины и передовых энерго- и ресурсосберегающих технологий.

В основу методики определения оптимальных уклонов карьерных автодорог в по расходу топлива карьерного автосамосвала при применении механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния. Положены результаты исследований оптимальных уклонов карьерных автодорог по расходу топлива карьерного автотранспорта различной грузоподъемности, что дает возможность применять их на перспективу развития карьера.

Методика предназначена для определения необходимой величины продольного уклона карьерных автомобильных дорог, необходимых для сокращения эксплуатационно-технических и технико-экономических затрат как на перемещение горной массы, так и в порожнем пробеге.

В разработке методики принимали участие: зав. каф. автомобилей и автомобильного хозяйства ГВУЗ «НГУ» к.т.н. доцент Басс К.М., ассистент каф. автомобилей и автомобильного хозяйства ГВУЗ «НГУ» Кривда В.В.

Удельный расход топлива грузеных и порожних автосамосвалов (г/км) при движении на горизонтальном участке трассы или на подъеме ($i > 0$) и работе двигателей в тяговом режиме определяется по методике Г.А. Журавлева из выражения:

$$g = \frac{g_H (G_a + k_T G) (\omega_0 + i) 10^3}{0.367 \eta_a} \quad (\text{К.1})$$

где G – грузоподъемность автосамосвала, т; G_a – собственная массы автосамосвала, т; k_T – коэффициент использования грузоподъемности; ω_0 – коэффициент сопротивления качению; i – уклон участка трассы; η_a – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала; g_H – удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя, г/кВт·ч.

В общем случае высота подъема горной массы определяется по выражению:

$$H_{II} = 1000/i,$$

где H_{II} – высота подъема горной массы, м;

l – протяженность автодороги с уклоном i , км;

i – уклон автодороги.

Разделив выражение (3.2) на $1000 \cdot l \cdot i G$, при $l = 1$ км и $k_T = 1,0$, получим

$$P_G = \frac{2,725 \cdot 10^{-3} g_H (k_T + 1) (\frac{\omega_0}{i} + 1)}{\eta_a}, \quad (\text{К.2})$$

где P – удельный расход дизельного топлива грузенным автосамосвалом при подъеме 1 т горной массы на 1 м, г/тм;

k_T – коэффициент тары КАС.

К.п.д. трансмиссии автосамосвала с дизель-электрическим приводом при движении на подъем определяется как произведение следующих коэффициентов полезного действия:

$$\eta_a = \eta_B \cdot \eta_T \cdot \eta_D \cdot \eta_P, \quad (\text{К.3})$$

где η_B – коэффициент учитывающий потери мощности на вспомогательные действия (привод насосов, вентиляция, выхлоп, управления тормозной системой и др.);

η_T – к.п.д. генератора;

η_D – к.п.д. тяговых электродвигателей, мотор-колес;

η_P – к.п.д. редуктора мотор колес.

По данным ПО БелАЗ для КАС с ЭМТ величина η_B имеет переменные значения и зависит от силы тока в тяговом режиме, нагрузки и определяющая-

ся соотношением электромагнитных потерь в генераторе и тяговых электродвигателях мотор-колес. [1-3]

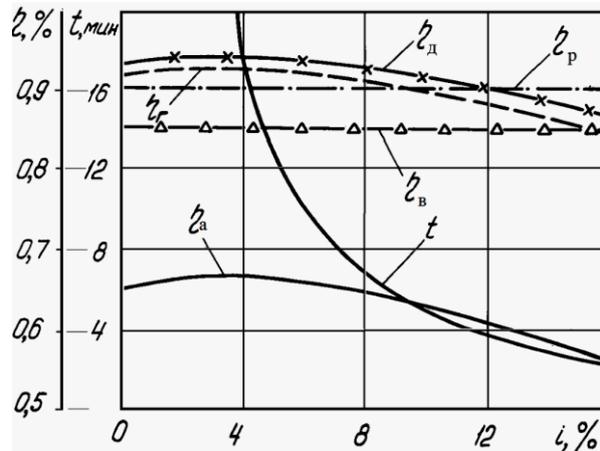


Рисунок К.1 - Зависимости эксплуатационных показателей автосамосвалов БелАЗ-7519 (110 т) от суммарного сопротивления движению: η_a – к.п.д. трансмиссии; η_b – потери мощности на вспомогательное оборудование; η_g , η_p , η_d – к.п.д. соответственно генератора, редуктора мотор-колеса, тягового электродвигателя; t – допустимая длительность перегрузки.

Удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя (g_H) является паспортной величиной, характеризующей фактический расход топлива для получения 1 кВт полезной энергии. Для дизельных двигателей, применяемых на автосамосвалах Белорусского автозавода, $g_H = 210\text{--}236$ г/кВт-ч, а эффективный КПД двигателя $\eta_e = 35,1\text{--}39,4\%$. Вместе с тем, удельный расход топлива g , также не является величиной постоянной, а зависит от степени использования мощности двигателя и числа оборотов, которые, в свою очередь, определяются суммарным сопротивлением движению ω_0 .

В этом случае удельный расход дизельного топлива определяется по выражению:

$$P_n = \frac{g_x l}{1000 \cdot i \cdot G \cdot v_n}, \quad (\text{К.4})$$

где P_n — удельный расход дизельного топлива порожним автосамосвалом при движении на спуск, г/т-м; G - грузоподъемность автосамосвала, т; v_n — скорость порожнего автосамосвала на спуске с уклоном i , км/ч; g_x — удельный расход топлива при движении порожних автосамосвалов в тормозном режиме, кг/ч. Величина g_x зависит от мощности и конструктивных особенностей дизельных двигателей. Меньшее значение g_x имеют двигатели, оснащенные электронной системой управления. На практике значения g_x получают путем замера расхода топлива регистрирующей системой FMS*.

$g_x = 51,0$ л/ч (БелАЗ-751311);

$g_x = 11,7$ л/ч (БелАЗ-75473).

Скорости движения порожних автосамосвалов в тормозном режиме

(v_n) определяется условиями безопасности и зависят от модели автосамосвала, уклона и качества дорожного покрытия.

Таким образом, полный удельный расход топлива при работе автосамосвалов на подъем горной массы составит

$$P = P_{\Gamma} + P_{\Pi} \quad (\text{К.5})$$

где в развернутом виде удельный расход топлива будет равен [12]:

$$P = \frac{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot g_H (k_T + 1) \left(\frac{\omega_0}{i} + 1\right)}{\eta_a} + \frac{g_x}{1000 \cdot i \cdot G \cdot v_{\Pi}}, \quad (\text{К.6})$$

В данном случае оптимальное значение уклонов дороги в зависимости от затрат на эксплуатационные материалы должны отвечать условию:

$$P \rightarrow \min .$$

При работе автосамосвалов на спуск горной массы полный удельный расход энергии (г/т·м) составит:

$$P = \frac{2,75 \cdot 10^{-3} g_H k_T \left(\frac{\omega_0}{i} + 1\right)}{\eta_a} + \frac{g'_x}{1000 \cdot i \cdot G \cdot v_{\Pi}}, \quad (\text{К.7})$$

где g'_x – удельный расход топлива при движении груженых автосамосвалов в тормозном режиме, кг/ч, данная величина зависит от мощности и конструктивных особенностей двигателей [1,2]. В расчет принимается $g'_x = (1,5 \div 1,8) g_x$.

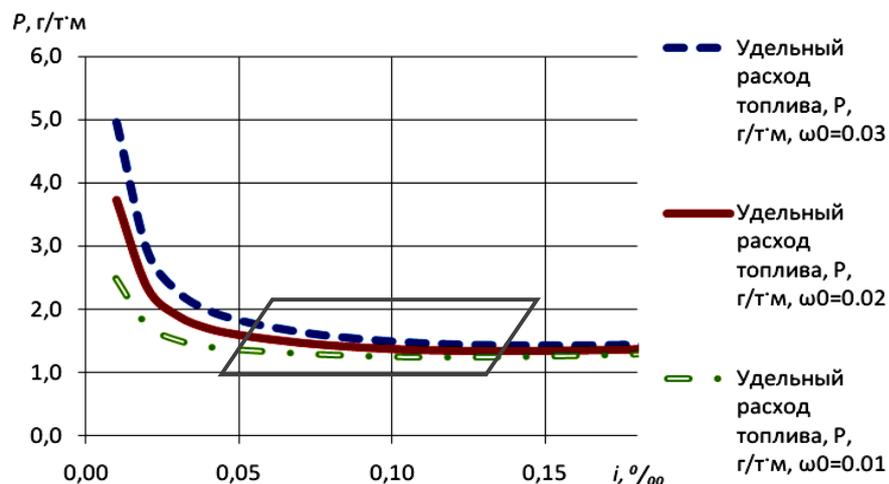


Рисунок К.2 – Зависимости удельного расхода дизтоплива автосамосвалами при обычной работе на подъем горной массы (P) от уклона автодороги i и коэффициента сопротивления качению (ω_0): БелАЗ-7519 (110 т),

– область минимальных значений P .

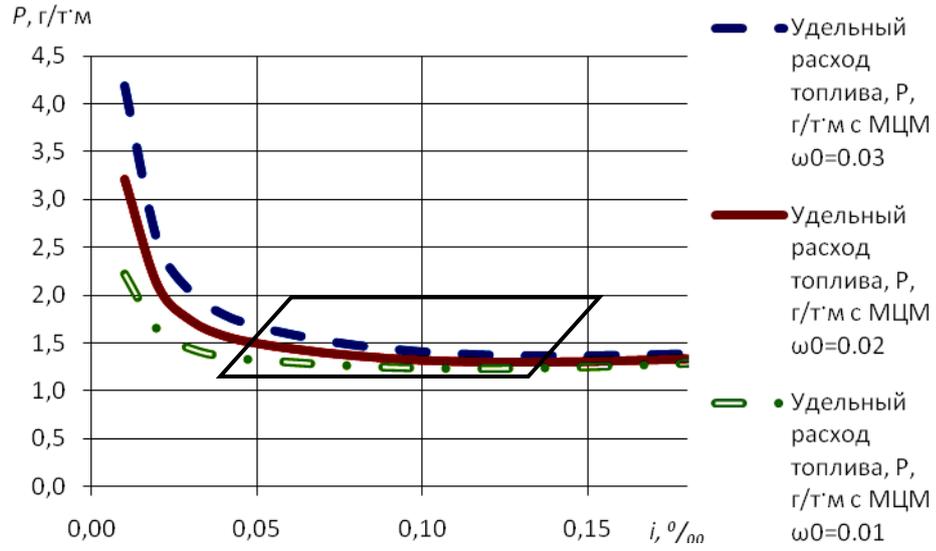


Рисунок К.3 – Зависимости удельного расхода дизтоплива автосамосвалами при использовании МЦМ, при работе на подъем горной массы (P) от уклона автодороги i и коэффициента сопротивления качению (ω_0): БелАЗ-7519 (110 т),  - область минимальных значений P .

Таблица К.1 – Удельный расход топлива от коэффициента сопротивления качению и к.п.д. трансмиссии автосамосвалов в карьерных условиях с МЦМ и без МЦМ

Уклон автодороги ‰	Повышенный уклон автодороги ‰	КПД трансмиссии η_a	Коэффициент потерь воздуха η_b	КПД генератора η_g	КПД ЭЛ. ДВ. η_d	КПД редуктора трансмиссии η_p	Удельный расход топлива, Р, г/т·м с МЦМ			Удельный расход топлива, Р, г/т·м.		
							$\omega_0=0.03$	$\omega_0=0.02$	$\omega_0=0.01$	$\omega_0=0.03$	$\omega_0=0.02$	$\omega_0=0.01$
0.00	0.00	0.80	0.90	0.80	0.14	0.90	5.49	4.12	2.75	5.49	4.12	2.75
0.01	0.01	0.89	0.75	0.85	0.15	0.90	4.19	3.21	2.22	4.96	3.72	2.48
0.02	0.03	0.94	0.62	0.89	0.28	0.90	2.56	2.10	1.63	2.93	2.34	1.76
0.03	0.04	0.97	0.50	0.93	0.40	0.90	2.04	1.74	1.44	2.27	1.89	1.52
0.04	0.05	0.97	0.40	0.96	0.50	0.90	1.80	1.58	1.35	1.98	1.69	1.41
0.05	0.06	0.97	0.33	0.98	0.57	0.90	1.68	1.50	1.32	1.82	1.59	1.37
0.06	0.08	0.96	0.30	0.99	0.60	0.90	1.60	1.45	1.30	1.72	1.53	1.33
0.07	0.09	0.96	0.31	0.98	0.59	0.90	1.53	1.40	1.27	1.63	1.47	1.31
0.08	0.10	0.96	0.33	0.96	0.57	0.90	1.48	1.37	1.26	1.57	1.43	1.29
0.09	0.11	0.96	0.36	0.93	0.54	0.90	1.44	1.34	1.24	1.52	1.39	1.27
0.10	0.13	0.96	0.39	0.91	0.51	0.90	1.41	1.32	1.23	1.48	1.37	1.26
0.11	0.14	0.96	0.42	0.88	0.48	0.90	1.39	1.31	1.23	1.46	1.35	1.25
0.12	0.15	0.95	0.45	0.85	0.45	0.90	1.38	1.30	1.23	1.44	1.34	1.25
0.13	0.16	0.95	0.48	0.81	0.42	0.90	1.37	1.30	1.23	1.43	1.34	1.25
0.14	0.18	0.94	0.51	0.77	0.39	0.90	1.37	1.30	1.24	1.42	1.34	1.26
0.15	0.19	0.93	0.54	0.73	0.36	0.90	1.37	1.31	1.25	1.42	1.34	1.26
0.16	0.20	0.92	0.57	0.69	0.33	0.90	1.38	1.32	1.26	1.42	1.35	1.27
0.17	0.21	0.91	0.60	0.65	0.30	0.90	1.38	1.33	1.27	1.43	1.36	1.29
0.18	0.23	0.89	0.63	0.61	0.27	0.90	1.39	1.34	1.28	1.43	1.37	1.30
0.19	0.24	0.88	0.66	0.57	0.24	0.90	1.40	1.35	1.30	1.44	1.38	1.31
0.20	0.25	0.87	0.69	0.53	0.21	0.90	1.41	1.36	1.31	1.45	1.39	1.33

Скорости движения груженых автосамосвалов в тормозном режиме (v_T) определяются условиями безопасности и зависят от модели автосамосвала, полной массы, величины уклона и качества дорожного покрытия.

Для определения скоростей движения дизель-электрических автосамосвалов БелАЗ в зависимости от величины продольного уклона постоянных автодорог со щебеночным покрытием рекомендуются регрессионные формулы, полученные в результате статистической обработки данных эксперимента [2]. Результаты экспериментальных исследований являются фактическим обоснованием для установления наиболее вероятных величин скоростей движения автосамосвалов для БелАЗ 7519.

На подъем в груженом состоянии:

$$V_a = 33,52 - 3,91i + 0,16 i^2$$

На спуск в порожнем состоянии:

$$V_a = 29,3 + 0,92i - 0,15 i^2$$

Приведенные данные свидетельствуют о том, что груженые автосамосвалы при движении на горизонтальных участках щебеночных автодорог имеют несколько большую скорость по сравнению со скоростью порожних, что обусловлено характеристикой амортизаторов подвески, обеспечивающих лучшую плавность хода при полной загрузке автомобиля. Возрастание вертикальных ускорений при сильных внешних возмущениях и создание при этом дискомфортной условий работы вынуждает водителя снижать скорость движения порожнего автосамосвала.

На участках автомобильных дорог с уклонами 3-4% порожние автосамосвалы развивают наибольшие скорости движения (рис. К.4). С увеличением продольных уклонов автодорог наблюдается постепенное снижение скоростей движения порожних автомобилей, что обусловлено необходимостью реализации больших тормозных усилий при притормаживай на более крутом уклоне и психологическими факторами.

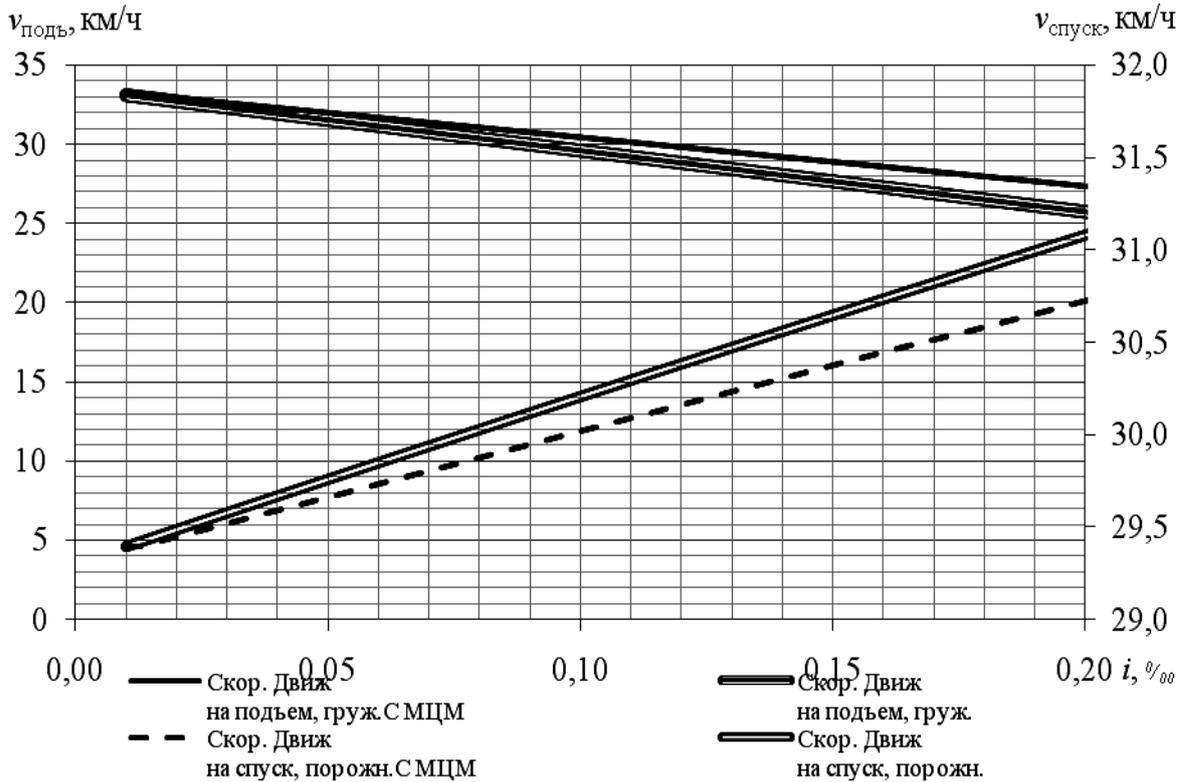


Рисунок К.4 – Влияние продольного уклона на скорость движения дизель-электрических автосамосвалов с МЦМ

На основании установленных зависимостей проведены исследования топливной экономичности автосамосвалов с МЦМ в определенных горнотехнических условиях. Результаты показали, что на топливную экономичность оказывают влияние не только номинальные характеристики двигателя, но и внедрение новых конструктивных решений.

Основными параметрами карьерных автосамосвалов являются грузоподъемность, мощность двигателя, объем кузова, колесная формула, минимальный радиус поворота и сила тяги. Радиус разворота и возможная сила тяги обуславливаются величиной межосевого расстояния и для автосамосвалов определенной конструкции являются величинами постоянными. Таким образом, изменяя межосевое расстояние можно регулировать возможную силу тяги и радиус разворота автосамосвала.

Предложенная конструкция механизма изменения положения центра масс и межосевого расстояния (МЦМ), результаты применения которой промоделированы математически, что позволяет:

- регулировать межосевое расстояние базы автосамосвала;
- увеличение межосевого расстояния автосамосвала типа БелАЗ 7512-7513 позволяет увеличить силу тяги на 11-25 % и преодолеваемый уклон в 2-3 раза, а при движении по дороге с уклоном 70% значительно снижается потребная сила тяги, что позволит более экономично расходовать дизельное топливо;
- безопасность движения автосамосвала по дорогам с увеличенным уклоном обеспечивается за счет увеличения угла опрокидывания.

На основе математического моделирования и горно-геометрического анализа получены взаимосвязи между параметрами систем разработки глубоких горизонтов карьера и эксплуатационно-техническими параметрами автосамосвала. Применение МЦМ на автосамосвалах типа БелАЗ 7512-7513 позволяет:

- увеличить продольный уклон внутрикарьерных автодорог с 80 до 120 ‰ что позволит увеличить высоту подъема горной массы на 60 м или сократить длину транспортирования до 40%;

- сократить радиус разворота автосамосвала и количество транспортных берм (за счет увеличения уклона автодорог), что в свою очередь приводит к увеличению угла откоса нерабочего борта карьера и сокращению объема вскрышных работ для вскрытия законсервированных под транспортными коммуникациями запасов. Это позволяет увеличить площадь готовых к выемке запасов и продлить срок эксплуатации карьера.

Приведенные рекомендации к расчету параметров систем разработки при использовании для транспортирования горной массы автосамосвалов с МЦМ основаны на аналитических, теоретических и экспериментальных работах, могут быть применены для определения параметров разработки глубоких горизонтов карьеров, что обеспечит положительную экономическую эффективность и обеспечит увеличение продолжительности эксплуатации карьеров.

Таблица К.2– Скорости движения дизель-электрических автосамосвалов в карьерных условиях с МЦМ и без МЦМ

Уклон автодороги ‰	Повышенный уклон автодороги ‰	Скор. движ на подъем, груз. с МЦМ, км/ч	Скор. движ. КАС на подъем, груз., км/ч	Скор. движ. КАС на спуск, порожн. с МЦМ, км/ч	Скор. движ. КАС на спуск, порожн., км/ч
1	2	3	4	5	6
0.00	0.00	33,13	33,13	29,39	29,39
0.01	0.01	33,13	33,03	29,39	29,42
0.02	0.03	32,74	32,54	29,48	29,53
0.03	0.04	32,35	32,04	29,57	29,65
0.04	0.05	31,96	31,55	29,67	29,76
0.05	0.06	31,57	31,06	29,76	29,87
0.06	0.08	31,18	30,57	29,85	29,99
0.07	0.09	30,79	30,08	29,94	30,10
0.08	0.10	30,40	29,59	30,03	30,21
0.09	0.11	30,01	29,11	30,12	30,32
0.10	0.13	29,63	28,62	30,21	30,44
0.11	0.14	29,24	28,13	30,29	30,55
0.12	0.15	28,85	27,64	30,38	30,66
0.13	0.16	28,46	27,16	30,47	30,77

1	2	3	4	5	6
0.14	0.18	28,08	26,67	30,56	30,88
0.15	0.19	27,69	26,19	30,65	30,99
0.16	0.20	27,30	25,70	30,73	31,09
0.17	0.21	26,92	25,22	30,82	31,20
0.18	0.23	26,53	24,73	30,91	31,31
0.19	0.24	26,15	24,25	30,99	31,42
0.20	0.25	25,76	23,77	31,08	31,52

Литература

1. Дриженко, А.Ю. Управление параметрами рабочей зоны железорудных карьеров при понижении горных работ / А.Ю. Дриженко, А.А. Рыкус: Зб. наук. праць НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2006. – № 25. – С. 81–87.
2. Пригунов, А.С. Поточная технология – основное направление развития открытой разработки взорванных скальных пород / А.С. Пригунов // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ИГТМ, 1998. – № 5. – С. 69–76.
3. Карьерный транспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров [и др.]. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.