На правах рукописи

Фурман

Фурман Андрей Сергеевич

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРАССАХ РАЗРЕЗОВ КУЗБАССА

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Кемерово – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва»

Научный руководитель: – доктор технических наук, доцент Буялич Геннадий Даниилович

Официальные оппоненты:

Комиссаров Анатолий Павлович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», профессор кафедры «Горных машин и комплексов»

Глебов Андрей Валерьевич – кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», заместитель директора по научным вопросам

Ведущая организация: – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» г. Санкт-Петербург

Защита состоится 17 мая 2018 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Факс (3842) 68-23-23, e-mail: siyu.eav@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте: http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2018/fur/Dissertation.pdf

Автореферат разослан «____» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Семыкина Ирина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в угольной промышленности страны особое внимание уделяется открытому способу добычи угля, что связано с более высокой его производительностью и рентабельностью. По разным оценкам, доля угля, добываемого открытым способом, составляет в настоящее время 50–65 %, а в дальнейшем увеличится до 80–85 %.

Развитие открытого способа добычи полезного ископаемого сопровождается ростом масштабов производства, увеличением глубины разрезов и усложнением горнотехнических условий эксплуатации основного технологического оборудования. С ростом глубины разрезов наиболее узким местом в горном производстве становится технологический автомобильный транспорт, так как рост глубины сопровождается усложнением профиля трасс. Сложность профиля трассы зависит от изменчивости величин дорожных уклонов и радиусов поворотов, т.е. от параметров трассы, ограничивающих скорости движения карьерных автосамосвалов. В свою очередь скорость движения карьерных автосамосвалов на отдельных участках технологической трассы определяют такие параметры трасс, как коэффициенты сопротивления качению и сцепления колеса с дорогой, ровность дорожного полотна, радиус поворота, продольный уклон, что также сказывается на эффективности использования экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК) в целом.

Удельный вес транспортных затрат в трудоемкости и энергоемкости процесса добычи полезных ископаемых при работе с глубины 100–150 м достигает 55–60 %, а при увеличении глубины до 200–250 м – 65–70 %. Из них более 50 % приходится на автомобильный транспорт. Целесообразно практическую реализацию и дальнейшее развитие научно-исследовательских работ в области совершенствования эффективных методов эксплуатации ЭАК и выбора технико-эксплуатационных показателей применительно к конкретно складывающейся обстановке направить на обеспечение требуемой производительности с наименьшими затратами.

В связи этим повышение эффективности использования ЭАК и снижение транспортных издержек на перевозки является актуальной задачей.

Степень разработанности

Научные и теоретические основы эффективной эксплуатации ЭАК изложены в трудах Васильева М.В., Кулешова А.А., Александрова В.И., Зырянова И.В., Глебова А.В., Ташкинова А.С., Гордиенко Б.В., Астафьева Ю.П., Белякова Ю.И., Хохрякова В.С., Яковенко Б.В., Малюты Д.И. и других. В этих работах описываются условия применения ЭАК, определяется область их рационального использования, излагаются особенности организации и обобщается опыт его работы на горнодобывающих предприятиях с открытым способом добычи полезных ископаемых. Несмотря на широкий диапазон проведенных исследований, недостаточно полно исследовано влияние параметров технологических трасс на режимы движения функциональных машин ЭАК и интенсивности их изменения, что, в свою

очередь, оказывает влияние на эффективность оценки показателей эксплуатации ЭАК в целом.

Цель работы оценка влияния параметров технологических трасс на эффективность эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов.

Идея работы состоит в оценке эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на основе производительности, себестоимости и прибыли, зависящих от параметров технологических трасс.

Для достижения указанной цели сформулированы следующие **задачи:**

1. Установить влияние параметров профиля технологических трасс на закономерности движения карьерных автосамосвалов

2. Обосновать критерии оценки эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов

3. Разработать методику оценки эффективности экскаваторно-автомобильного комплекса с учетом его состава и параметров технологической трассы.

4. Сравнить варианты реализации разработанной методики при выборе состава экскаваторно-автомобильного комплекса для условий конкретного разреза.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Закономерности движения карьерных автосамосвалов определяются составом ЭАК, профилем технологической трассы, параметрами ускоренного и замедленного движения в порожнем и груженом состояниях, которые характеризуются нормальным законом распределения и доверительными интервалами, зависящими от продольного уклона трассы.

2. Эффективность ЭАК определяется уровнем производительности, себестоимости или прибыли, которые зависят от параметров технологических трасс, составом и параметрами входящих в него машин, при этом производительность имеет экстремумы во всём диапазоне продольных уклонов, на которых разрешена эксплуатация карьерных автосамосвалов, а себестоимость и прибыль – в диапазоне уклонов от 90 до 110 ‰.

Научная новизна работы:

– впервые определены доверительные интервалы скоростей и ускорений в зависимости от продольного уклона трассы, которые на горизонтальных участках трасс характеризуются значениями ускорений от (-0,43) до (0,39) м/с^2 в груженом направлении и от (-0,53) до (0,42) м/с^2 – в порожнем, а при увеличении уклонов они уменьшаются и на уклонах свыше 110 ‰ находятся в пределах от (-0,10) до (0,08) м/с^2 в груженом направлении и от (-0,10) до (0,10) м/с^2 – в порожнем;

– разработана методика по выбору эффективного состава ЭАК в зависимости от параметров технологических трасс, отличающаяся определением производительности, себестоимости или прибыли с учетом времени и пути разгона и торможения, а также степени загрузки автосамосвалов;

– впервые установлены зависимости изменения производительности, прибыли и себестоимости транспортирования горной массы карьерными автосамосвалами от продольного уклона трассы и состава ЭАК для оценки эффективности его эксплуатации.

Достоверность научных результатов подтверждена результатами вычислительных экспериментов, правомерностью принятых критериев эффективности и допущений, сопоставлением результатов компьютерного моделирования с фактическими данными (расхождение расчётных со средними значениями фактических скоростей до 13,3 % на горизонтальных участках и на участках с величиной уклона от 50 ‰ – до 10 %, а по маршруту в целом – до 5 %).

Теоретическая ценность заключается в установлении зависимостей производительности, себестоимости и прибыли от продольного уклона трассы и состава ЭАК, а так же доверительных интервалов скоростей и ускорений карьерных автосамосвалов.

Практическая ценность заключается в использовании полученных зависимостей для проектирования новых трасс при углубке разрезов; в разработке методики, позволяющей определить эффективную структуру погрузочно-транспортного оборудования для различных горнотехнических условий.

Реализация результатов работы

Научные результаты работы внедрены и используются в АО «Черниговец» и ОАО «УК«Кузбассразрезуголь» при проектировании участков открытой разработки угольных месторождений в части профилирования технологических трасс и выбора эффективного оборудования, а так же в ООО «НИИЦ КузНИУИ» при экспертных заключениях по техническому перевооружению разрезов Кузбасса.

Методы исследований, используемые в ходе выполнения работы:

– метод фотометрической съемки при экспериментальном определении скоростей и ускорений движения карьерных автосамосвалов;

– методы математической статистики при обработке результатов экспериментальных исследований;

– методы компьютерного моделирования для получения зависимостей производительности, себестоимости и прибыли карьерных автосамосвалов.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на ежегодных научно-технических конференциях Кузбасского государственного технического университета (Кемерово, 2003–2017); II Всероссийской молодежной научно-практической конференции по проблемам недропользования (Екатеринбург, 2008); XII Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» Сибресурс–2008 (Кемерово, 2008); V Международной конференции «Инновации в технологиях и образовании» (Белово, 2012); V, VII, VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «РОССИЯ МОЛОДАЯ» (Кемерово, 2013, 2015, 2016); Международной научно-практической конференции «Современная наука: Проблемы и пути их решения» (Кемерово, 2015); XXIV Международном научном симпозиуме «Неделя горняка–2016» (Москва, 2016); V Международной научной конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (Прокопьевск, 2016); Всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы в горном деле» (Междуреченск, 2016); II Международной научно-практической конференции «Научно–

технический прогресс: Актуальные и перспективные направления будущего» (Кемерово, 2016); III Международной научно-практической конференции «Интеграция современных научных исследований в развитие общества» (Кемерово, 2017).

Личный вклад автора заключается в формировании основной идеи; выборе метода исследований и непосредственном их выполнении; анализе полученных результатов и разработке модели работы экскаваторно-автомобильных комплексов (св. РФ № 2012616861); разработке методики оценки эффективности эксплуатации ЭАК.

Публикации

По теме диссертационного исследования автором опубликовано 17 работ, в том числе 9 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертация изложена на 134 страницах машинописного текста, включает в себя введение, 4 главы, заключение, список использованной литературы из 112 наименований, приложений. Диссертация содержит 43 рисунка и 11 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, определены научная новизна и научные положения, а также теоретическая и практическая значимость результатов исследований.

В первой главе приводится анализ состояния карьерного транспорта на разрезах Кузбасса, который показал большое разнообразие в условиях эксплуатации ЭАК на разрезах ОАО «Угольная компания Кузбассразрезуголь». Такое разнообразие является одной из причин больших колебаний эффективности использования ЭАК. Установлено влияние на технико-экономические показатели работы функциональных машин ЭАК, выраженное в постепенном сокращении среднесписочного состава автосамосвалов при одновременном увеличении их средней грузоподъемности, росте интенсивности эксплуатации карьерных автосамосвалов и увеличении дорожных уклонов.

Приводится обзор литературных исследований, целью которых является повышение производительности и снижение себестоимости карьерных автосамосвалов. Научные и теоретические основы организации выемочно-погрузочно-разгрузочнных работ и эффективной эксплуатации технологического автомобильного транспорта изложены в трудах Васильева М.В., Кулешова А.А., Александрова В.И., Зырянова И.В., Глебова А.В., Ташкинова А.С., Гордиенко Б.В., Астафьева Ю.П., Белякова Ю.И., Хохрякова В.С., Яковенко Б.В., Малюты Д.И. и других. В этих работах описываются условия применения ЭАК, определяется область их рационального использования, излагаются особенности организации и обобщается опыт его работы на горнодобывающих предприятиях с открытым способом добычи полезных ископаемых.

Выявлено, что на производительность влияют скорость движения карьерных автосамосвалов, расстояние транспортирования, время погрузки, соотношение объемов ковша экскаватора и грузовой платформы автосамосвала, коэффициент использования грузоподъемности, продольный уклон трассы, дорожные неровности, геометрические параметры погрузочных площадок и связанные с ними схемы заезда и маневрирования. На экономическую эффективность использования ЭАК оказывают влияние затраты, связанные с содержанием дорог, процессами погрузки-разгрузки, техническим обслуживанием и ремонтом горнотранспортного оборудования, расходом топлива и шин, а также параметры технологических трасс и скорость движения карьерных автосамосвалов.

В результате комплексного анализа работ этих и многих других авторов установлен достаточно широкий диапазон проведенных исследований в области расчетов производительности и себестоимости ЭАК, но недостаточно полно исследовано влияние параметров технологических трасс на режимы движения функциональных машин ЭАК, а также интенсивность их изменения.

Во второй главе обоснована роль скорости движения карьерных автосамосвалов в рабочих процессах ЭАК, а также исследовано влияние параметров технологических трасс на скорости движения и ускорения автосамосвалов.

Скорость это наиболее информативный комплексный показатель эффективности работы карьерного транспорта. Её влияние на транспортный процесс значительно и противоречиво. С одной стороны, от неё в большой степени зависит производительность автосамосвалов, и движение с неоправданно низкой скоростью приводит к низкой эффективности использования карьерного автотранспорта и увеличению себестоимости перевозок. С другой стороны, с ростом скорости движения автосамосвалов по маршрутам снижается ресурс шин и опорных металлоконструкций, повышается расход топлива, что тоже приводит, через увеличение затрат на эксплуатацию, к росту себестоимости перевозок.

Скорость движения автосамосвалов по карьерным дорогам зависит от множества факторов и, прежде всего, от удельной мощности двигателя, типа трансмиссии, качества дорожного полотна, продольного профиля трассы, радиусов закруглений в плане, условий безопасного движения и т.д.

В ходе аналитического исследования скоростей движения карьерных авто самосвалов выявлено, что на них накладываются ограничения:

– по условию возможности динамического преодоления подъема;

– по условию безопасности торможения при движении под уклон;

– по условию безопасного прохождения поворота.

Кроме скоростных ограничений, зависящих, большей частью, от параметров трасс, на скорость оказывает влияние ровность дорожного полотна.

Зависимости снижения скорости движения автосамосвалов от величины дорожных неровностей, получены в СПГГИ:

– для груженых автосамосвалов

$$\Delta V = 0{,}0436V + 0{,}3898H\,, \qquad (1)$$

– для порожних автосамосвалов

$$\Delta V = 0{,}0105V + 0{,}7422H\,, \qquad (2)$$

где ΔV – снижение скорости, км/ч; V – скорость автосамосвала, движущегося по ровной дороге, км/ч; H – высота неровностей, см.

Применение теоретических зависимостей для расчета скоростей движения дает завышенные результаты, поэтому для их корректировки необходимо определить доверительные интервалы скоростей движения карьерных самосвалов.

Для определения характера изменения скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов, а также доверительных интервалов скоростей движения и ускорений был проведен эксперимент в условиях АО «Красный Брод» ОАО Холдинговая компания «Кузбассразрезуголь». Испытанию подвергались автосамосвалы БелАЗ-75131 грузоподъемностью 130 т в количестве 3 единиц, перевозившие вскрышные породы на маршруте «Забой-Отвал-Забой». Данная трасса протяженностью 4200 м характеризуется различными величинами продольного уклона трассы (от 0 до 114 ‰), одним поворотом (радиусом 140 м), дорожным покрытием переходного типа со средними значениями неровности от 5 до 10 см.

В процессе проведения эксперимента проводились замеры скоростей движения автосамосвалов по маршруту методом фотометрической съемки через каждые 2 секунды. Общее число замеров более 3500.

Результаты измерений показывают большую вариацию значений мгновенной скорости в фиксированный момент времени и в заданной точке пространства. Это определяется стохастической природой транспортного процесса при влиянии на него большого числа факторов.

На рисунке 1 представлены результаты статистической обработки скоростей движения и ускорений карьерных автосамосвалов в программе STATISTICA 6.0. По всем участкам распределение скоростей описывается нормальным законом, при доверительной вероятности 95 %.

Наибольшее рассеивание значений скоростей наблюдается на ровных участках, значения ускорений изменяются от (-2,03) до (1,52) м/с^2 в гружёном направлении и от (-1,19) до (1,19) м/с^2 в порожнем направлении. На подъемах движение более равномерное, значения ускорений на этих участках приближается к нулю. При движении автосамосвала под уклон больше 55 ‰ основная масса значений ускорения лежат в пределах от (-0,34) до (0,34) м/с^2, но наблюдается большой разброс скоростей, которые водители выбирают из соображений безопасности спуска. С увеличением крутизны спуска эта неравномерность выбора уменьшается.

Средние значения ускорений близки к нулю, следовательно, в модели движения в случае близких значений начальной и конечной скоростей, движение можно считать равномерным, а в случае различия их значений следует использовать доверительные интервалы ускорений.

Таким образом, при расчете неустановившихся режимов в случае движения по горизонтальному участку доверительный интервал ускорений составляет от (-0,43) до (0,39) м/с^2 в гружёном направлении и от (-0,53) до (0,42) м/с^2 в порожнем, а при увеличении уклона он уменьшается и на уклонах свыше 110 ‰ составляет от (-0,10) до (0,08) м/с^2 в гружёном направлении и от (-0,10) до (0,10) м/с^2 в порожнем.

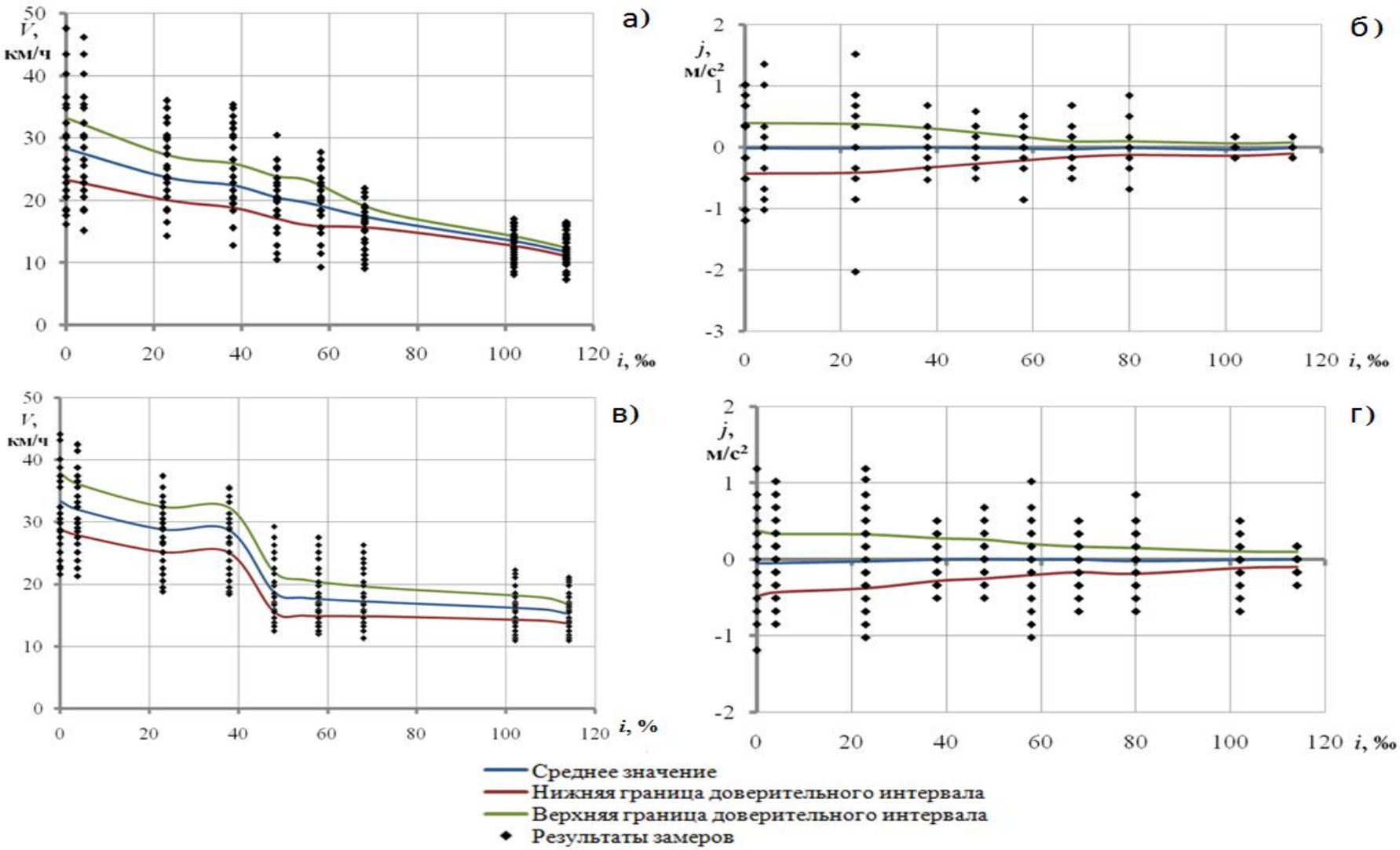

Рисунок 1 – Распределение скоростей движения (а, в) и ускорений (б, г) карьерных автосамосвалов а, б – в груженом направлении; в, г – в порожнем направлении

В третьей главе обоснованна расчетная схема маршрута и исследовано влияние продольного уклона трассы на производительность, прибыль и себестоимость транспортирования горной массы.

В виду того, что в реальности геометрия маршрутов движения карьерных автосамосвалов характеризуется большим разнообразием, а так же имеются значительные изменения величин продольного уклона в пределах одной трассы, возникает необходимость применения единой расчётной схемы маршрута для получения зависимостей изменения производительности, прибыли и себестоимости перевозок от продольного уклона трассы.

Единая расчетная схема маршрута требует введения следующих допущений:

а) продольные уклоны отрезков трассы изменяются незначительно;

б) снижением скорости на криволинейных отрезках трассы можно пренебречь.

Таким образом, длина транспортирования обратно пропорциональна продольному уклону трассы.

Продольный уклон трассы оказывает сложное воздействие на производительность ЭАК:

$$W_{\text{т}} = q\gamma T_{\text{см}} N_{\text{ас}} / (H / (2i\beta(\frac{V_i V_{\text{д}}}{V_i + V_{\text{д}}})) + T_{\text{пр}}), \quad (3)$$

где q – грузоподъемность автосамосвала, т; γ – коэффициент использования грузоподъемности; β – коэффициент использования пробега; $T_{\text{пр}}$ – общее время простоя автосамосвала в течение одного рейса, ч; $N_{\text{ас}}$ – число автосамосвалов ЭАК; $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены; H – перепад высот транспортирования, км; i – продольный уклон трассы; V_i – скорость движения автосамосвала на подъем, км/ч; $V_{\text{д}}$ – допустимая скорость движения на спуск, км/ч.

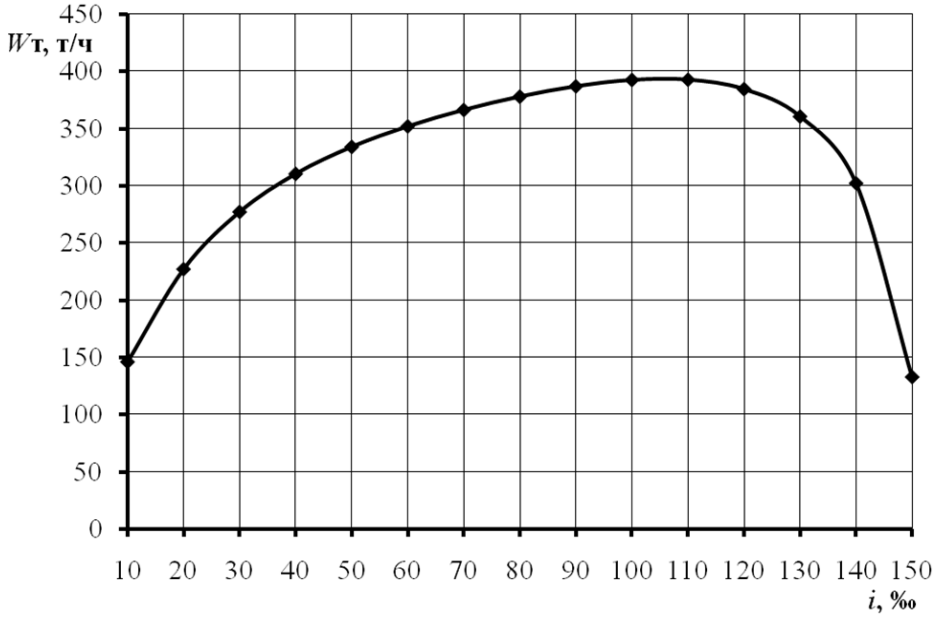

Рисунок 2 – Зависимость производительности (W_m) автосамосвала БелАЗ-75131 от продольного уклона трассы (i)

Для простого ЭАК, состоящего из одного экскаватора и одного автосамосвала, реальная зависимость часовой производительности от продольного уклона трассы носит полиномиальный характер (рис. 2).

Помимо производительности карьерных автосамосвалов про-

дольный уклон трассы также будет оказывать влияние и на структуру ЭАК. Так, например, уменьшение продольного уклона повлечет за собой увеличение расстояния транспортирования и времени движения автосамосвалов, что вызовет необходимость увеличить их количество. На рисунке 3 представлено количество автосамосвалов в ЭАК в зависимости от продольного уклона трассы.

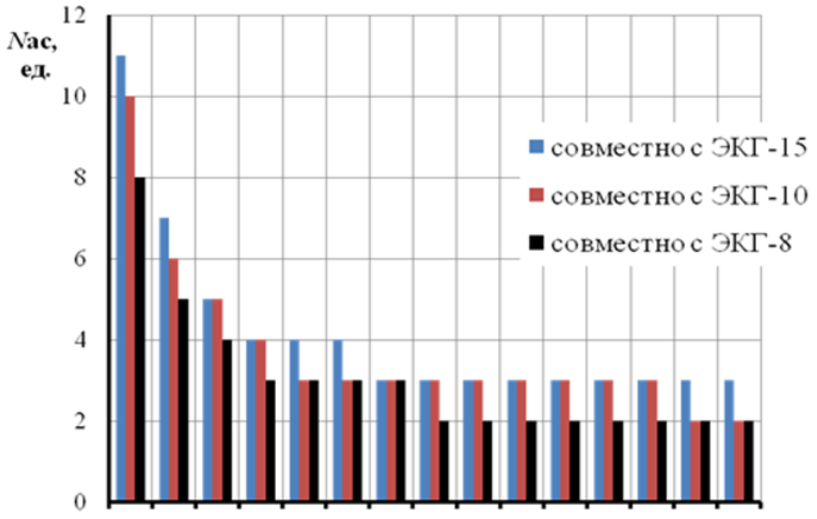

Рисунок 3 – Зависимость количества (N_{ac}) автосамосвалов БелАЗ-75131 от продольного уклона трассы (i)

Однако, снижение технической скорости, как следствие увеличения продольного уклона при неизменном расстоянии транспортирования, также приведет к росту числа автосамосвалов.

Изменение структуры ЭАК, т.е. эксплуатация различных экскаваторов с разным числом карьерных автосамосвалов приводит к изменению производительности ЭАК в зависимости от продольного уклона трассы (рис. 4).

Такой характер изменения производительности обусловлен не только изменением количества автосамосвалов в ЭАК в зависимости от уклона трассы, но и косвенным влиянием других структурных параметров ЭАК. Так, например, погрузка одного и того же автосамосвала разными экскаваторами даст разные значения коэффициента использования грузоподъемности, что в свою очередь скажется на скорости движения автосамосвала на уклоне.

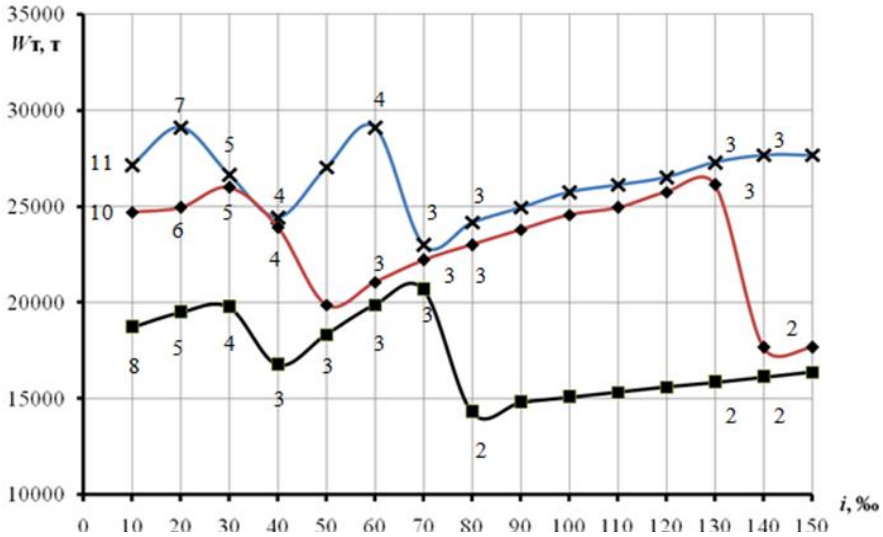

Рисунок 4 – Зависимость производительности (W_m) и количества автосамосвалов БелАЗ-75131 в ЭАК от продольного уклона трассы (i)

Тягово-скоростные свойства автосамосвала определяют его способность преодолевать уклоны различной величины и, в свою очередь, оказывают влияние на характер зависимости производительности ЭАК от продольного уклона трассы (рис. 5).

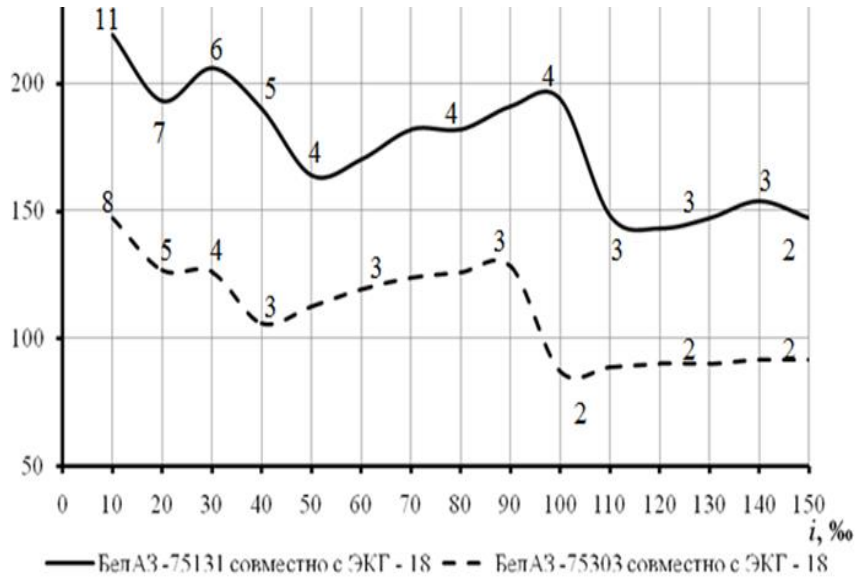

Рисунок 5 – Зависимость производительности одной автотонны (W) от продольного уклона трассы (i)

Таким образом, продольный уклон трассы оказывает значительное и весьма сложное влияние на производительность ЭАК и, следовательно, может быть использован для выбора его эффективной структуры для эксплуатации с максимальной производительностью.

Оптимумы для различных сочетаний ЭАК приходятся на весь диапазон продольных уклонов трасс (см. рис. 4, 5), в которых разрешена эксплуатация карьерных автосамосвалов. Таким образом, эффективный ЭАК на основе производительности возможно подобрать для любой трассы.

Продольный уклон трассы оказывает сложное влияние на себестоимость перевозок. С одной стороны, если принять эксплуатационные затраты неизменными, то с увеличением уклона, за счет повышения часовой производительности, себестоимость перевозок снижается, и зависимость себестоимости перевозок от продольного уклона дороги носит гиперболический характер.

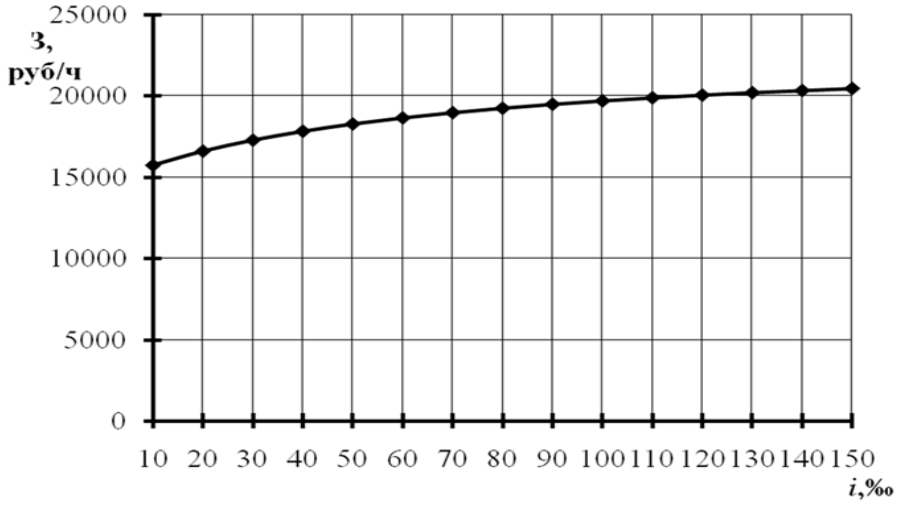

Рисунок 6 – Зависимость суммарных часовых эксплуатационных затрат (З) автосамосвалов БелАЗ-75131 от продольного уклона трассы (i)

С другой стороны, увеличение уклона приводит к повышению расхода топлива, смазочных материалов, к снижению ресурса опорных металлоконструкций, увеличению простоев автосамосвалов в техническом обслуживании и ремонте, более быстрому износу парка автосамосвалов и, значит, увеличению эксплуатационных расходов по соответствующим статьям. Таким образом, суммарные эксплуатационные затраты увеличиваются с ростом уклона (рис. 6).

Следовательно, реальная зависимость себестоимости перевозок от продольного уклона трассы носит полиномиальный характер (рис. 7), а значит, имеет экстремум, при котором себестоимость перевозок минимальна.

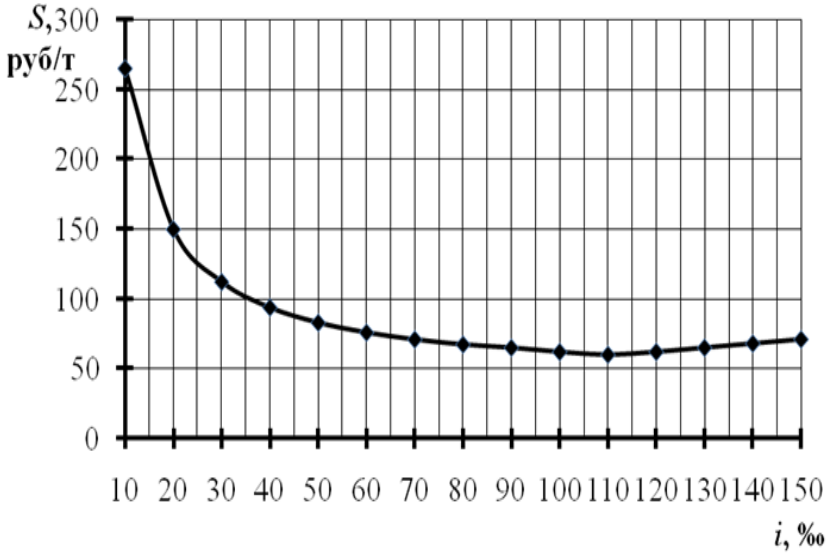

Рисунок 7 – Реальная зависимость себестоимости (S) перевозок автосамосвалами БелАЗ-75131 от продольного уклона трассы (i)

При осуществлении транспортного процесса на карьерах происходит перемещение двух типов грузов: полезного ископаемого и вскрышной породы. Для каждого типа груза условие определение рационального уклона свое.

При перевозке вскрышной породы предприятия не получают дохода от перевозочного процесса, поэтому они заинтересованы в минимизации всех эксплуатационных затрат. Следовательно, рациональным уклоном при перевозке вскрышных пород является тот, при котором себестоимость перевозок минимальна.

Продольный уклон трассы оказывает влияние на техническую скорость движения карьерных автосамосвалов, следовательно, переменными статьями себестоимости транспортирования горной массы являются те, на которые оказывает влияние скорость движения, а именно затраты на топливо, смазочные материалы, шины, техническое обслуживание и текущий ремонт, а также на затраты, связанные с содержанием карьерных дорог.

Затраты на топливо:

$$З_т = Ц_т\, G_т\,, \tag{4}$$

где $Ц_т$ – цена топлива, руб/л; $G_т$ – часовой расход дизельного топлива л/ч.

Затраты на смазочные материалы:

$$З_{см} = G_{тфакт}\left(q_{мот}\, Ц_{мот} + q_{транс}\, Ц_{транс} + q_{спец}\, Ц_{спец} + q_{пласт}\, Ц_{пласт}\right), \tag{5}$$

где $q_{мот}$, $q_{транс}$, $q_{спец}$, $q_{пласт}$ – нормативы расхода на 1 литр израсходованного дизельного топлива, соответственно, моторных, трансмиссионных и специальных масел, пластичных смазок, кг/л; $Ц_{мот}$, $Ц_{транс}$, $Ц_{спец}$, $Ц_{пласт}$ – цена одного килограмма, соответственно, моторных, трансмиссионных и специальных масел, пластичных смазок, руб/кг.

Затраты на шины:

$$З_ш = З_{шнорм}\,\frac{100}{102{,}3 - 0{,}149h - V_т\left(0{,}105 + 0{,}08h\right)}, \tag{6}$$

где $З_{шнорм}$ – нормативные часовые затраты на шины, руб/ч; $V_т$ – техническая скорость движения автосамосвала, км/ч; h – средняя высота неровностей полотна карьерной дороги, см.

Затраты на ТО и ТР:

$$З_{то,тр} = З_{то,трпост} + З_{трм} \frac{100}{101{,}2 + 0{,}01h + V_т(0{,}038 - 0{,}084h)}, \quad (7)$$

где $З_{то,\ трпост}$, $З_{трм}$ – удельные затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт соответственно, зависящие и не зависящие от технической скорости движения карьерного автосамосвала, руб/км.

Техническую скорость можно определить по формуле:

$$V_т = 2\left(\frac{V_i V_Д}{V_i + V_Д}\right). \quad (8)$$

Оптимумы для различных сочетаний ЭАК приходятся на диапазон продольного уклона трассы 90–110 ‰ (рис. 8). Это объясняется тем что начиная с этого диапазона расстояние транспортирования, а следовательно затраты на содержание карьерных дорог и затраты топлива на транспортирование горной массы, снижаются не так быстро как на первоначальном этапе. С дальнейшим увеличением уклона снижение этих затрат уже не компенсирует резкое увеличение затрат по остальным статьям расходов.

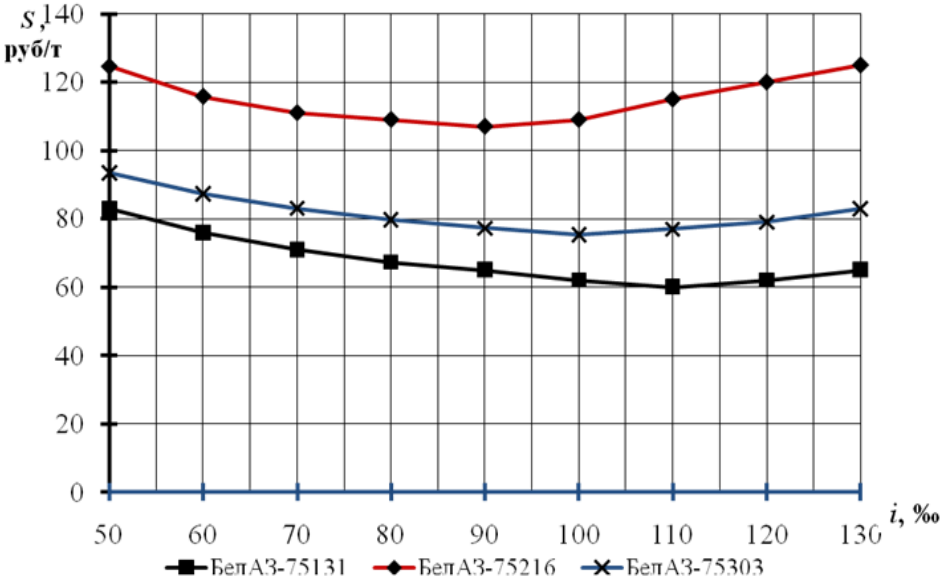

Рисунок 8 – Зависимость себестоимости (S) перевозок автосамосвалами при совместной работе с ЭКГ-18 от продольного уклона трассы (i)

Согласно приведённым в работе П.Л. Мариева и А.А. Кулешова статистическим данным удельный вес автодорог с уклонами 80-100 ‰ составляет в среднем 17 %, с уклонами 60–80 ‰ – 24 %, свыше 100 ‰ – 5 %. Таким образом, эффективный ЭАК на основе себестоимости возможно подобрать для менее 20 % трасс.

Перевозка полезного ископаемого является одним из важнейших звеньев получения горнодобывающими предприятиями прибыли. Большое значение имеет не только величина эксплуатационных затрат на перевозку, но и величина полученной за определенный период прибыли и это является определяющим. Сле-

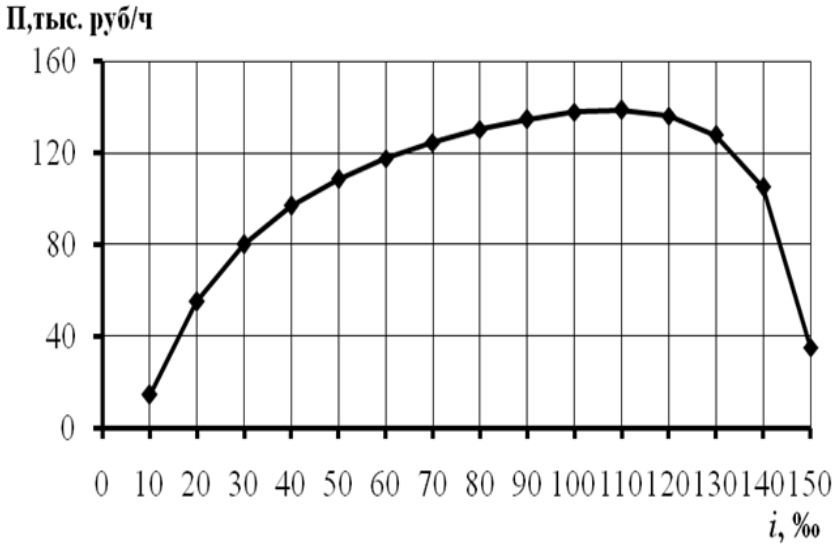

Рисунок 9 – Зависимость планируемой прибыли (П) автосамосвалов БелАЗ-75215 за час, полученной в результате перевозки полезного ископаемого от продольного уклона трассы (i)

довательно, нельзя оценивать рациональный уклон при перевозке полезного ископаемого, с помощью только одной себестоимости перевозок. Так, например, некоторое повышение уклона при перевозке полезного ископаемого, по сравнению с уклоном, где себестоимость минимальна, приведет к некоторому росту эксплуатационных затрат, однако за счет повышения при этом производительности карьерных автосамосвалов общая прибыль от совершения перевозочного процесса за определенный период времени будет также расти. Зависимость планируемой прибыли от перевозок полезного ископаемого от продольного уклона дороги будет иметь вид полиномы, обратной относительно оси *i* полиноме себестоимости (рис. 9).

Прибыль рассчитана следующим образом:

$$\text{П} = T\left(W_{\text{т}}\,\text{Ц}_{\text{пи}} - \text{З}_{\text{пер}} - \text{З}_{\text{пост}} - \text{З}_{\text{пр}}\,W_{\text{т}} - \text{З}_{\text{д}}\,W_{\text{т}}\,\frac{H}{i}\right). \qquad (9)$$

где $\text{Ц}_{\text{пи}}$ – цена реализации предприятием одной тонны полезного ископаемого, руб/т; T – заданный период времени, час; $\text{З}_{\text{пер}}$, $\text{З}_{\text{пост}}$ – соответственно, переменные и постоянные часовые затраты на перевозку, руб/ч; $\text{З}_{\text{пр}}$ – затраты, связанные с работами по погрузке и разгрузке одной тонны горной массы, руб/т; $\text{З}_{\text{д}}$ – эксплуатационные затраты на содержание одного километра карьерной автодороги, руб/ткм; H – перепад высот транспортирования, км.

В четвертой главе решены задачи, возникающие при переходе от принятой расчетной схемы к реальным маршрутам, на которых параметры сложнопрофильных трас уже не будут постоянными, а именно определение скоростей движения карьерных автосамосвалов по маршруту и продолжительности транспортного цикла.

По результатам исследований разработано алгоритмическое и программное обеспечение свидетельство № 2012616861 о государственной регистрации программ для ЭВМ. Алгоритмы строятся на основе ограничений, накладываемых на скорость движения карьерных автосамосвалов и доверительных интервалов скоростей и ускорений, определенных во 2 главе. Параметры ускоренного и замедленного движения используются с целью уточнения режимов движения карьерных автосамосвалов.

Сопоставление расчетных и фактических скоростей показало, что наибольшие отклонения до 13,3 % наблюдаются на ровных участках, для которых характерна большая неравномерность движения. На участках со значительными значениями уклона, где движение более равномерное расхождение менее 10 %. Отклонение средней скорости на маршруте менее 5 %.

Выявленный резерв скорости, составивший 4,9 %, позволил сократить время движения автосамосвалов по маршруту на 2,8 %.

Для проверки эффективности разработанной методики, а также сравнения полученных результатов с фактическими значениями, были произведены расчеты (табл. 1) для конкретных условий эксплуатации.

Таблица 1 – Сравнение эффективности работы различных ЭАК в АО «Красный Брод» ОАО Холдинговая компания «Кузбассразрезуголь»

Тип автосамосвала	(фактич.) БелАЗ-75131	БелАЗ-75131	БелАЗ-75131	БелАЗ-75303
Тип экскаватора	ЭКГ-12,5	ЭКГ-15	ЭКГ-10	ЭКГ-20
Объем кузова с «шапкой» 2:1, $м^3$	71,2	75,5	71,2	138
Коэффициент использования грузоподъемности	0,936	0,921	0,953	0,965
Себестоимость, руб/т	101,3	98,4	102,4	118,7
Средняя скорость по маршруту, км/ч	20,81	21,88	21,38	19,86
Время оборота, мин	15,72	14,43	16,34	16,21
Число автосамосвалов, ед.	3	4	3	3
Сменная производительность, т.	15861	22030	14867	23760
Изменение $W_т$, %	–	38,9	-6,3	49,8
Производительность 1 автотонны, т	40,7	42,4	38,12	39,6
Изменение $W_{а/т}$, %	–	4,2	-6,3	-2,7

Наиболее рациональным ЭАК, из имеющегося в АО «Красный Брод» оборудования, на данном маршруте будет ЭАК состоящий из автосамосвалов БелАЗ-75131 и экскаватора ЭКГ-15, который позволяет повысить производительность на 38,9 % и снизить себестоимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе выполненного автором исследования дано новое решение актуальной задачи повышения эффективности использования ЭАК, путем ее оценки в зависимости от параметров технологических трасс, что имеет большое значение для горнодобывающей отрасли.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Определено, что наибольшая вариация скоростей наблюдается на горизонтальных участках, на которых значения ускорений изменяются от (-2,03) до (1,52) м/с^2 при движении груженом направлении и от (-1,19) до (1,19) м/с^2 в порожнем направлении, а на уклонах движение более равномерное, основная масса значений ускорений на этих участках находится в диапазоне от (-0,17) до (0,17) м/с^2 при движении на подъем и от –(0,34) до (0,34) м/с^2 на спуск.

2. Выявлено, что распределение скоростей и ускорений на участках трассы подчиняется нормальному закону, а также, доверительные интервалы ускорений на горизонтальных участках трассы лежат в пределах от (-0,43) до (0,39) м/с^2 в груженом направлении и от (-0,53) до (0,42) м/с^2 в порожнем, а при увеличении уклона они уменьшаются и на уклонах более 110 ‰ составляют от (-0,10) до (0,08) м/с^2 в груженом направлении и от (-0,10) до (0,10) м/с^2 в порожнем.

3. Установлено, что эффективность ЭАК определяется параметрами сложнорофильных трасс, составом и техническими параметрами входящих в него машин и оценивается производительностью, себестоимостью и прибылью, зависящими от продольного уклона трассы, при этом при различных условиях эксплуатации и составах ЭАК производительность имеет экстремумы во всём диапазоне продольных уклонов, на которых разрешена эксплуатация карьерных автосамосвалов, а себестоимость и прибыль – в диапазоне уклонов от 90 до 110 ‰.

4. Разработанная методика оценки эффективности экскаваторно-автомобильного комплекса в зависимости от параметров технологических трасс на основе повышения производительности, прибыли и снижения затрат, позволяет определить скорости движения карьерных автосамосвалов по маршруту, продолжительность транспортного цикла рационального типа ЭАК как для существующих трасс, так и для вновь проектируемых.

5. Определено, что на ровных участках маршрута, характеризующихся большой неравномерностью движения, отклонения средних фактических скоростей от расчётных – до 13,3 %, а на участках с значениями уклона свыше 50 ‰ – до 10 %.

6. При сопоставлении средних фактических и расчетных скоростей движения автосамосвалов по маршруту АО «Красный Брод» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» с помощью разработанной методики выявлен резерв скорости, составляющий 4,9 %, который позволяет сократить время движения автосамосвалов на 2,8 % и повысить производительность перевозки вскрыши на 38,9 %.

Направления дальнейших исследований:

1. Расширить область применения методики по условиям эксплуатации.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Фурман, А.С. О нормировании расхода топлива на карьерном транспорте /А.С. Фурман, Д.В. Стенин, В.Е. Ашихмин // Вестник КузГТУ. – 2006. – № 1. – С. 125–127.

2. Фурман, А. С. Анализ методик нормирования расхода топлива на карьерном автомобильном транспорте / А.С. Фурман, В.Е. Ашихмин // Вестник КузГТУ. – 2006. – № 1. – С. 127-128.

3. Фурман, А.С. Аналитическое исследование топливной экономичности автомобиля с электромеханической трансмиссией / А.С. Фурман, Д.В. Стенин, В.Е. Ашихмин // Вестник КузГТУ. – 2007. – № 5. – С. 92–93.

4. Стенин, Д.В. Исследование режима работы экскаваторно-автомобильного комплекса на открытых разработках / Д.В. Стенин, А.С.Фурман, В.Е. Ашихмин // Вестник КузГТУ. – 2007. – №5. – С.94–95.

5. Фурман, А.С. Исследование распределения скоростей движения карьерных автосамосвалов / А.С. Фурман, А.А. Хорешок, Д.В. Стенин // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 5. – С. 48–49.

6. Фурман, А.С. Закономерности изменения эффективности экскаваторно-автомобильных комплексов от продольного уклона дороги / А.С. Фурман, В.Н. Шадрин, В.Е. Ашихмин // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 4. – С.120–123.

7. Фурман, А.С. Скоростные и рабочие режимы карьерных автосамосвалов / А.С. Фурман, В.Н. Шадрин, В.Е. Ашихмин // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 4. – С. 123–125.

8. Фурман, А.С. Влияние продольного уклона дороги на производительность экскаваторно-автомобильных комплексов / А.С. Фурман, А.А. Хорешок // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 3. – С. 19–23.

9. Фурман, А.С. Исследование транспортного процесса карьерных автосамосвалов / А.С. Фурман, А.А., Г.Д. Буялич // Горное оборудование и электромеханика.– № 5. – 2017. – С. 40–42.

Прочие публикации по теме исследования:

10. Фурман, А.С. Исследование скоростных режимов карьерных автосамосвалов / А.С. Фурман, А.А. Хорешок, Д.В. Стенин, Н.А. Стенина // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Материалы XII Международной научно-практической конференции «Сибресурс – 2008». – Кемерово, 2008. – С. 190–193.

11. Фурман, А.С. Оптимизация продольных уклонов дорог на карьерном автомобильном транспорте / А.С. Фурман // Проблемы недропользования: Материалы II всероссийской молодежной научно-практической конференции. – Екатеринбург: ИГД УрОРАН. – 2008. – С. 188–190.

12. Фурман, А.С. Влияние продольного уклона дороги на эффективность использования экскаваторно-автомобильных комплексов / Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург, 2015 – № 3-1 (34). – С. 116–119.

13. Фурман, А.С. Исследование скоростных режимов движения карьерных автосамосвалов / А.С. Фурман, Г.Д. Буялич // Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург, 2015. – № 10-2 (41). – С. 22–25.

14. Фурман, А.С. Закономерности изменения производительности карьерных автосамосвалов от продольного уклона трассы / А.С. Фурман, Г.Д. Буялич // Международная научно-практическая конференция «Современная наука: проблемы и пути их решения». – Кемерово, 2015. – С. 33–35.

15. Фурман, А.С. Влияние продольного уклона трассы на себестоимость транспортирования горной массы / А.С. Фурман, Г.Д. Буялич // V Международная научно-практическая конференция «Перспективы инновационного развития угольных регионов России». – Прокопьевск – 2016 – С.162-164.

16. Фурман, А.С. Влияние продольного уклона трассы на структуру и производительность экскаваторно-автомобильных комплексов / А.С. Фурман, Г.Д. Буялич // II Международная научно-практическая конференция «Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего» – Кемерово, 2016. – Т. I. – С. 10–11.

17. Фурман, А.С. Исследование скоростных режимов карьерных автосамосвалов / А.С. Фурман, Н.В. Фурман, С.С. Байкалов // III Международная научно-практическая конференция «Интеграция современных научных исследований в развитие общества». – Кемерово, 2017. – С. 6–9.

Объекты интеллектуальной собственности:

18. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012616861 Российская Федерация. Программа моделирования работы экскаваторно-автомобильных комплексов / А.С. Фурман, Д.В. Стенин, Н.А. Стенина; заявитель и правообладатель ФБГОУ ВПО Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. – № 2012614675; заявл. 07.06.12; рег. 01.08.12.

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве, заключается в следующем:

[1], [4], [5], [9], [10], [13], [17] – получение, обработка, анализ экспериментальных данных;

[2], [3] – общий анализ методик нормирования расхода топлива, разработка алгоритма расчета;

[7] – общий анализ факторов, влияющих на скорость движения карьерных автосамосвалов;

[6], [8], [11], [14], [15], [16] – получение, обработка, анализ закономерностей;

[18] – разработка модели движения и баз данных.