

Федеральное Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(НИТУ «МИСиС»)

кафедра «Автоматизированные системы управления»

На правах рукописи

СИС МУЕ

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАРЬЕРНЫМ АВТОМОБИЛЬНЫМ
ТРАНСПОРТОМ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ МЕСТНОСТИ И
СЕЗОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ НЕДОСТУПНОСТИ**

Специальность 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Кубрин Сергей Сергеевич

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ КАРЬЕРНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПО ПЕРЕВОЗКЕ УГЛЯ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ МЕСТНОСТИ	11
1.1 Анализ угледобывающей отрасли Республики Союз Мьянма	11
1.2 Анализ условий ведения горных работ и факторов, влияющих на транспортировку угля	16
1.3 Обзор применяемых систем автоматизации при планировании работ карьерного автотранспорта	30
Выводы по главе	31
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ И ПОЛУЧЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАСХОДА ТОПЛИВА ОТ ПРОФИЛЯ И ПОКРЫТИЯ ДОРОГ	33
2.1 Разработка математической модели определения параметров движения автомобилей (груженого и порожнем) на участках маршрутов	33
2.2 Определение эмпирических зависимостей удельного расхода топлива для карьерного автотранспорта	51
2.3 Разработка алгоритмов согласованной работы автомобилей и экскаваторов, обеспечивающий необходимые объемы наполнения угольных складов и режим работы автомобилей близкий к номинальному	63
2.4 Разработка выбора количества резервных автосамосвалов с учетом периодического технического обслуживания	72
Выводы по главе	75
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ..	77

3.1 Определение зависимости расхода топлива от профиля, технологических факторов.....	77
3.2 Регрессионный анализ полученного уравнения	82
Выводы по главе.....	87
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ КАРЬЕРНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ УГЛЯ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ МЕСТНОСТИ	
4.1 Разработка основополагающих моментов для освоения методики.....	88
4.2 Порядок планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности	89
4.3 Алгоритм работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности.....	93
4.4 Основы реализации системы управления карьерным автомобильным транспортом для перевозки угля в сложных условиях местности и сезонной недоступности	95
4.4.1. Программные и информационные средства системы управления карьерным автомобильным транспортом для перевозки угля в сложных условиях местности и сезонной недоступности	97
Выводы по главе.....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ	119
П. 1. Документы об актуальности и внедрения	119

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Месторождение каменного угля «Шве Таунг» (Золотая гора) находится на северо-западе в горной местности Республики Союз Мьянма, в горном массиве Пат-кай, который переходит в хребет Ракхайн (точнее в серию хребтов). Исторически горные массивы Пат-кай и Ракхайн сформированы сжатием Евразийской и Индостанской плит и представляют собой несколько меридионально расположенных хребтов с острыми и крутыми склонами, разделенные эрозионно-тектоническими долинами. массивы Пат-кай и Ракхайн являются естественной преградой между полуостровом Индостан и Юго-восточной Азией. Разработка месторождения «Шве Таунг» ведется открытым способом на нескольких участках. Добытый уголь перевозится по специально проложенным грунтовым горным дорогам (обновляемым после сезона дождей) в порт, на реке Чиндуин, на временные склады. Далее уголь грузят на баржи и отправляют на цементный завод по реке Чиндуин.

Климат Республики Союз Мьянма муссонный и характеризуется тремя сезонами: зима (ноябрь-февраль), лето (март-июнь), и сезон дождей (июль-октябрь). Следует отметить, что месторождение «Шве Таунг» расположено в районе материка Евразии с наибольшим количеством осадков (более 2500 мм). Сезон дождей длится 4 месяца с частыми повторяющимися муссонными затяжными осадками, переходящими в проливные ливни. Поэтому добыча угля и его транспортировка ведутся только в период отсутствия дождей из-за необходимости соблюдения требований безопасности. Эти специфические особенности климата существенно осложняют ведение горных работ и транспортировку угля. Кроме этого, отсутствие транспортной инфраструктуры ограничивает возможность оперативного снабжения расходными материалами и запчастями. В основном снабжения осуществляется по реке и по единственной автомобильной дороге, заканчивающейся у противоположного берега реки Чиндуин. Индекс транспортной доступности, изменяющийся от 0 (полностью недоступно) до 1,

месторождения «Шве Таунг» не превышает 0,001 и сильно зависит от сезона. В летний период, который длится 4 месяца из-за падения уровня воды в реке, доставка угля по реке и транспортное снабжение, с противоположного берега прекращаются. Для непрерывной работы потребителя угля месторождения «Шве Таунг» – цементного завода, в течение всего года необходимо создавать его запасы, как на территории завода, так и в районе разработки месторождения.

Следовательно, научная задача организации управлением карьерным транспортом при добыче и транспортировке угля с целью обеспечения ритмичной, эффективной и бесперебойной работы основного потребителя – цементного завода в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности, позволяющей минимизировать расходы на автомобильный транспорт, является актуальной. Для увеличения времени безаварийной эксплуатации автомобиля необходимо, чтоб скорость, текущая мощность и тяговое усилие соответствовали характеристикам участка дороги. То есть, автомобиль должен эксплуатироваться в номинальном режиме автомобиля, в режиме, время работы в котором практически не ограничено.

Целью диссертационной работы является разработка системы управления транспортировкой угля, обеспечивающей бесперебойное снабжение им цементного завода, имеющего стратегическое значение для экономики северо-западной части Республики Союз Мьянма, производящего в течении всего года строительные материалы.

Идея работы заключается в использовании полученных статистических зависимостей удельных энергозатрат на транспортировку угля и влияния, факторов, характеризующих обслуживание автомобилей, для минимизации затрат на снабжение горюче-смазочными материалами, запчастями и техникой.

Основные задачи исследования:

- провести анализ влияния рельефа, покрытия дорог и климатических условий на транспортировку угля с участков месторождения «Шве Таунг» к складам порта, на берегу реки Чиндуин;
- провести исследования по определению скоростей и тяговых усилий на участках маршрута, с учетом состояния покрытия дорог, обеспечивающих номинальный режим эксплуатации автомобилей;
- определить удельные расходы топлива при движении автосамосвалов на участках маршрутов;
- провести исследования по определению времени простоев автосамосвалов и экскаваторов;
- разработать алгоритм планирования работы и обслуживания карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности;
- провести исследование по определению скоростей и тяговых усилий автотранспорта на участках маршрутов, обеспечивающих наибольшую продолжительность работы автомобилей (работу в режиме близком к номинальному).

Научная новизна:

- разработана математическая модель определения параметров работы карьерного автомобильного парка, минимизирующая затраты на материально-техническое обеспечение горюче смазочными материалами и запасными частями, что обеспечивает непрерывное транспортное обслуживание в условиях сезонной недоступности;
- создан алгоритм на основе эмпирических зависимостей расхода топлива от погодных условий, профиля и покрытия дорог, позволяющий разработать график совместной работы автомобилей и экскаваторов, обеспечивающий перевозку заданного объема полезного ископаемого,

минимизирующий простой техники и гарантирующий эксплуатацию автосамосвалов в режиме близком к номинальному.

Основные защищаемые положения заключаются в:

- 1 разработке математической модели определения параметров движения автомобилей (груженого и порожнего) на участках маршрутов, обеспечивающих наибольшую продолжительность работы в режимах близких к номинальному;
- 2 определении эмпирических зависимостей расхода топлива от погодных условий, профиля и покрытия дорог на основе эксперимента, проведенного на месторождении «Шве Таунг» в Республике Союз Мьянма, позволяющих находить режимы работы автомобилей близкие к номинальному;
- 3 алгоритме согласованной работы автомобилей и экскаваторов, обеспечивающего необходимые объемы наполнения угольных складов и режим работы автомобилей близкий к номинальному;
- 4 алгоритме распределения объемов транспортировки угля между складами на реке Чиндуин и цементного завода с учетом сезонной транспортной недоступности, обеспечивающий бесперебойную работу потребителя угля.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовались метод наименьших квадратов, аналитические и графоаналитические методы, методы математической статистики и регрессионного анализа, методы технико-экономической оценки, системный анализ, методы теории автоматического управления, методы компьютерного моделирования.

Достоверность научных положений подтверждается:

- практической апробацией полученных результатов горнодобывающих компаниях;
- сопоставимостью результатов компьютерного моделирования процессов транспортировки горной массы с учетом сложных условий рельефа, покрытия дорог и климатических условий с практически наблюдаемыми;
- применением общепринятых методов и критериев оценки эффективности полученных решений;
- высокой степенью сходимости установленных статистических зависимостей с данными проведенного эксперимента и результатами эксплуатации автосамосвалов;
- внедрением результатов работы на месторождении «Шве Таунг» Республики Союз Мьянма и в ЗАО «Мансуровское карьероуправление» Российской Федерации.

Практическая значимость работы – разработан способ планирования работы автосамосвалов, применяемый при расчете производственной программы горнодобывающего предприятия, для перевозки угля в условиях горной местности с резко пересечённым рельефом и грунтовым покрытием дорог, осложненной климатическими условиями месторождения «Шве Таунг» (Республика Союз Мьянма), повышающий экономическую эффективность и обеспечивающий бесперебойность поставки потребителям конечной продукции с учетом сезонной транспортной недоступности.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях и форумах:

- III Конференция международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр», Москва, ИПКОН РАН, 2018;

- Международная научно-практическая конференция «Подземная угледобыча XXI век», Ленинск-Кузнецкий, АО «СУЭК-Кузбасс», 2018;
- на научном симпозиуме «Неделя горняка – 2020» Москва, НИТУ «МИСиС», ГИ, 2020;
- IV Конференция международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр», Москва, ИПКОН РАН, 2020;
- на научном симпозиуме «Неделя горняка – 2021» Москва, НИТУ «МИСиС», Горный институт, 2021.

Реализация результатов работы. Полученные результаты и выводы диссертационной работе использованы для автоматизации управления автосамосвалами и повышении эффективности транспортировки угля на месторождении «Шве Таунг» Республики Союз Мьянма и при расчете производственной программы работы парка автосамосвалов на ЗАО «Мансуровское карьероуправление» Российской Федерации.

Соответствие шифру специальности. Диссертационная работа соответствует шифру специальности 05.13.06 и охватывает следующие области исследований, входящие в специальность: п. 3. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т.д.; п. 4. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация; п. 11. Методы планирования и оптимизации отладки, сопровождения, модификации и эксплуатации задач функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включающие задачи управления качеством, финансами и персоналом.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, проведении эксперимента на месторождении «Шве Таунг», обобщении и анализе данных по результатам расчетов, установлении зависимостей влияния рельефа, покрытия дорог, климатических условий и технических параметров на удельное потребление топлива и время транспортировки горной массы.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатные работы в изданиях, из них в 3 рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 из них в журналах из базы данных Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и библиографического списка. Работа изложена на 119 страницах машинописного текста (включая 1 страницу приложения), содержит 41 таблицу и 43 рисунка. Библиография включает 124 наименования.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ КАРЬЕРНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПО ПЕРЕВОЗКЕ УГЛЯ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ МЕСТНОСТИ

1.1 Анализ угледобывающей отрасли Республики Союз Мьянма

Для иностранных инвесторов в Республике Союз Мьянма запрещено вести добычу рубинов и других драгоценных и полудрагоценных камней. Тем не менее, Мьянма обладает обширными запасами минеральной руды и большим количеством неразведанных запасов. По данным Департамента геологической службы и разведки полезных ископаемых (DGSE) [117], страна имеет (помимо драгоценных камней, сланца, природного газа и драгоценных металлов) запасы железа и металлов для стальных сплавов (марганец, хром, никель, молибден), цветные металлы (свинец, цинк, медь, олово, вольфрам, сурьма) химические и минеральные удобрения (барит, флюорит, гипс, каменная соль); керамические и огнеупорные минералы (глина, известняк, доломит, полевопшпат, кварц, песок); строительство и строительные минералы (декоративные камни, известняк для производства цемента) и энергетические полезные ископаемые, такие как уголь.

Даже при относительно низком уровне иностранных инвестиций по сравнению с другими секторами экономики страны, добывающий сектор вместе с энергетикой принёс в 2010 году 8 млрд. \$ к ВВП. В горнодобывающей отрасли было занято около 90000 людей. Согласно данным отчета McKinsey [117], опубликованном в июне 2013 года, к 2030 году добыча полезных ископаемых и энергетика принесёт до 21,7 млрд. \$ Валовой внутренний продукт (ВВП). И в отрасли будет занято около 250 000 людей. Из 21,7 млрд. \$, добыча составит 40 %.

Основными покупателями полезных ископаемых являются Китай, Япония и Тайланд. Так в стране добыча и экспорт руды в Китай в 2016 году выросли более чем на 200 % (рисунок 1.1) [116].

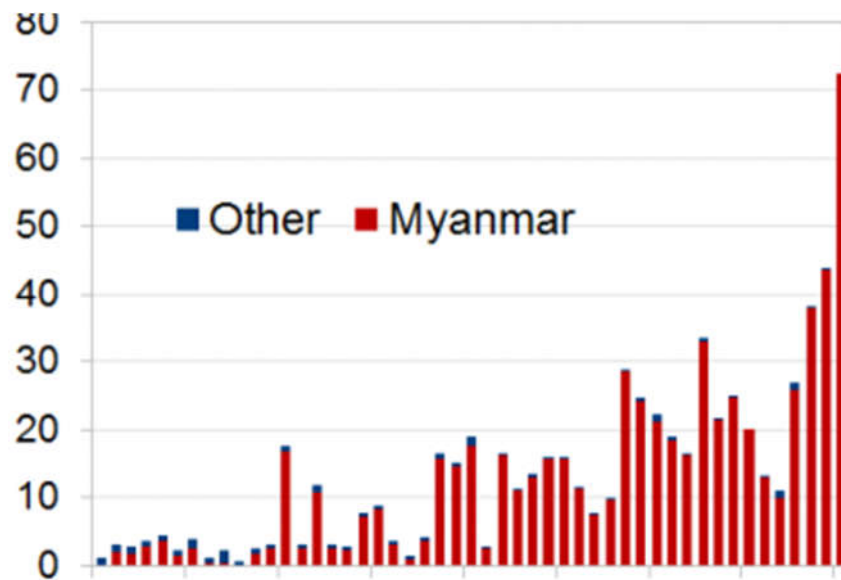


Рисунок 1.1 – Динамика экспорта руды

В Республике Союз Мьянма расположены большие месторождения золота, платины, титана, меди, никеля и др. (рисунок 1.2).

В Мьянме насчитывается 25 угольных бассейнов и более 300 месторождений. Все они расположены равномерно по всей территории страны (рисунок 1.3).

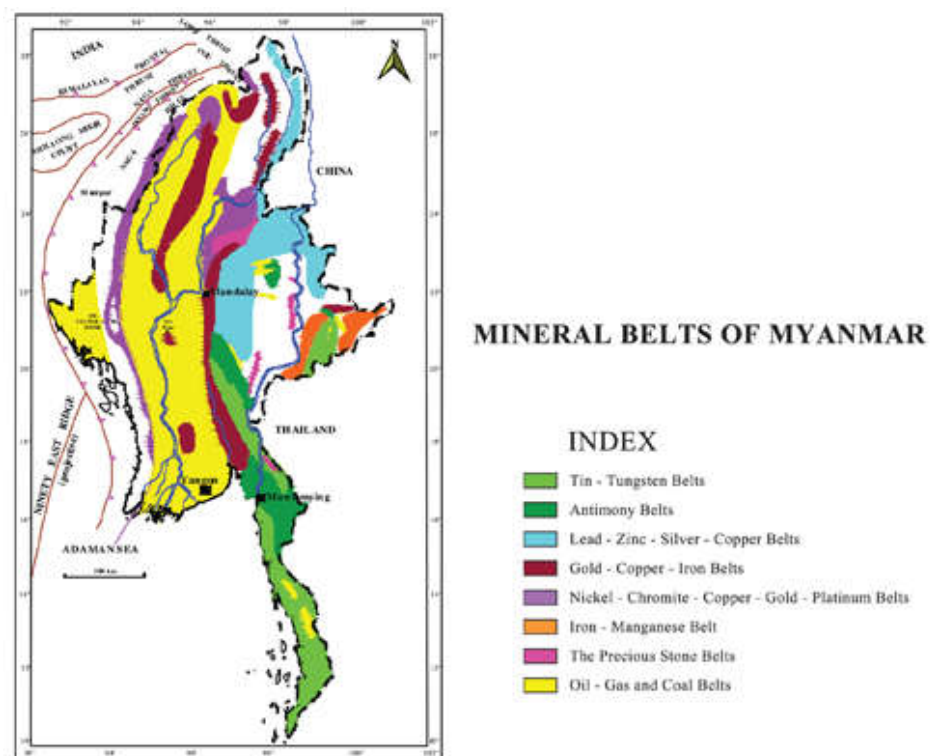


Рисунок 1.2 – Геологическая карта полезных ископаемых Республики Союз Мьянма

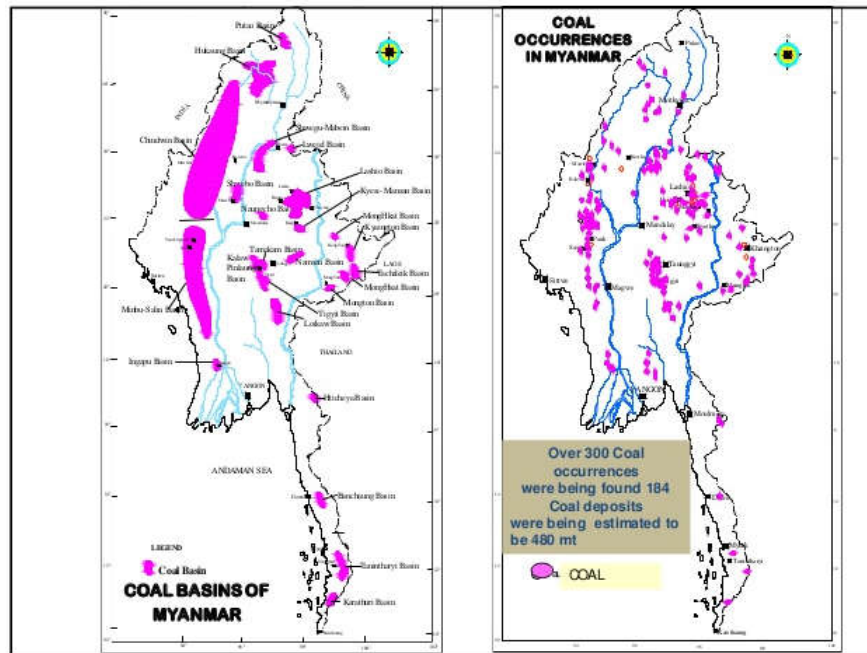


Рисунок 1.3 – Угольные бассейны Республики Союз Мьянма

Как правило, на одном месторождении располагается несколько угольных шахт и разрезов (рисунок 1.4). Часто угольные пласты выходят на поверхность, что позволяет вести добычу угля открытым способом или вскрывать месторождения наклонными стволами (рисунок 1.5). Горные предприятия принадлежат как правило крупным государственным компаниям [119].

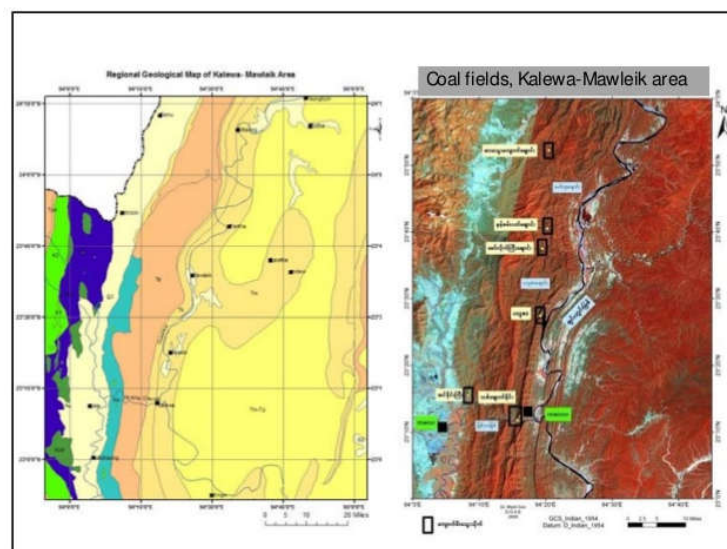


Рисунок 1.4 – Расположение угольных шахт на месторождении Kalewa-Mawleik



Рисунок 1.5 – Вид выхода месторождений Kalewa-Mawleik на поверхность, вскрывающая выработка и угольный разрез

Уровень информационной обеспеченности при ведении горных работ в Республике Союз Мьянма в настоящее время находится на невысоком уровне, о чём свидетельствуют аварии [51]. Разработка геоинформационной модели управления технологическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых Республики Союз Мьянма подземным способом для увеличения производительности с повышением уровня безопасности ведения горных работ является весьма актуальной задачей.

На основе данных с геоинформационных систем обеспечения безопасности ведения горных работ [42, 28], добычи полезного ископаемого и его транспортировки, при контроле состояния экологии [75], и энергоэффективности на предприятии [43] можно будет изменять технологические процессы при разработке месторождений полезных ископаемых с целью повышения эффективности и безопасности.

В настоящее время необходимо определить наиболее важные параметры, влияющие на эффективность ведения горных работ в подземных условиях с учётом климатических, социальных, технологических особенностей горных предприятий, расположенных в Республике Союз Мьянма. На основе анализа травматизма на горных предприятиях Республики Союз Мьянма планируется определить существенно влияющие на производительность труда вредные и опасные факторы. Только на основе полученных результатов можно будет разработать модели для дальнейшей их интеграции в автоматизированные системы контроля и управления.

По полученным моделям управления технологическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом можно будет создать лабораторные установки и на них провести исследования по работе автоматизированных систем управления. Только при успешном проведении лабораторных испытаний можно будет провести натурные испытания на горных предприятиях Республики Союз Мьянма (при согласовании и одобрении руководства Департамента геологической разведки и минеральных обзорователей).

В работе необходимо провести исследования с учётом климатических особенностей страны, так как они существенно влияют на параметры ведения горных работ. А также необходимо учесть социальные аспекты (проанализировать влияние «человеческого фактора» на эффективность и безопасность ведения горных работ). В работе планируется учесть особенности применяемых технологических систем, автоматики и контроля.

Результаты исследований будут внедрены на горных предприятиях Республики Союз Мьянма, ведущих добычу полезных ископаемых открытым способом.

Для требуемого правительством страны развития горной промышленности в Республике Союз Мьянма необходимо применять самые современные технологии. Российская Федерация является мировым лидером в области добычи полезных ископаемых. Большой опыт России можно

использовать для технологического прорыва. В условиях действующих американских и европейских стран санкций в Мьянме, ограничивающих приток инвестиций, и необходимости развития собственного производства результаты работы будут весьма востребованы.

Полученные в результате исследования закономерности внесут существенный вклад в науку в области добычи полезных ископаемых, так как будут получены для новых профилей, технологических и климатических условий.

Внедрение планируемых результатов позволит повысить безопасность ведения горных работ, что является очень важным с учётом роста числа горнорабочих. Снижение аварий и улучшение санитарно-гигиенических условий труда снизят социальное напряжение, позволят повысить уровень зарплаты и престиж работы на горных предприятиях.

Геоинформационные модели управления технологическими процессами при разработке месторождений полезных ископаемых Республики Союз Мьянма открытым способом позволят повысить эффективность добычи.

1.2 Анализ условий ведения горных работ и факторов, влияющих на транспортировку угля

Месторождение «Шве Таунг» находится на северо-западе в горной местности Республики Союз Мьянма. Рельеф здесь характеризуется простиранием горных хребтов в меридианном направлении. Между горных систем (хребтов) на севере расположены участки обширных плоскогорий, чередующихся с широкими плоскими котловинами, долинами и платами [117], позднедокембрийского, палеозойского и триасовского происхождения. Горные породы складывающие горный массив характеризуются однообразным терригенно-карбонатным составом.

Горные хребты вытянуты с севера на юг и не создают препятствий движению континентальных воздушных масс с севера [119]. Основной объем осадков приносят юго-западные экваториальные муссоны. Они оставляют ее

главным образом на западном побережье, которое является самым влажным районом полуострова. Во внутренние районы полуострова Индокитая в район горной системы Ракхайн летний максимум осадков составляет более 2500 мм. Осадки выпадают в виде сильнейших и продолжительных ливней, которые сопровождаются тайфунами, приносящими большие разрушения (особенно часто с июля по сентябрь) [116].

Месторождение «Шве Таунг» расположено недалеко от города Калева на восточных склонах горного хребта Ракхайн. С востока горный хребет омывает река Чиндуин, являющаяся притоком реки Иравади. Разработка месторождения ведется тремя участками открытых горных работ. Добытое полезное ископаемое сразу перевозят на склады, находящиеся в речном порту. С этих складов уголь грузится на суда, которые транспортируют уголь на цементный завод по реке Чиндуинг на расстоянии 273 км. Карта местонахождения представлена на рисунке 1.6. Схема размещения и транспортировки угля представлена на рисунке 1.7.

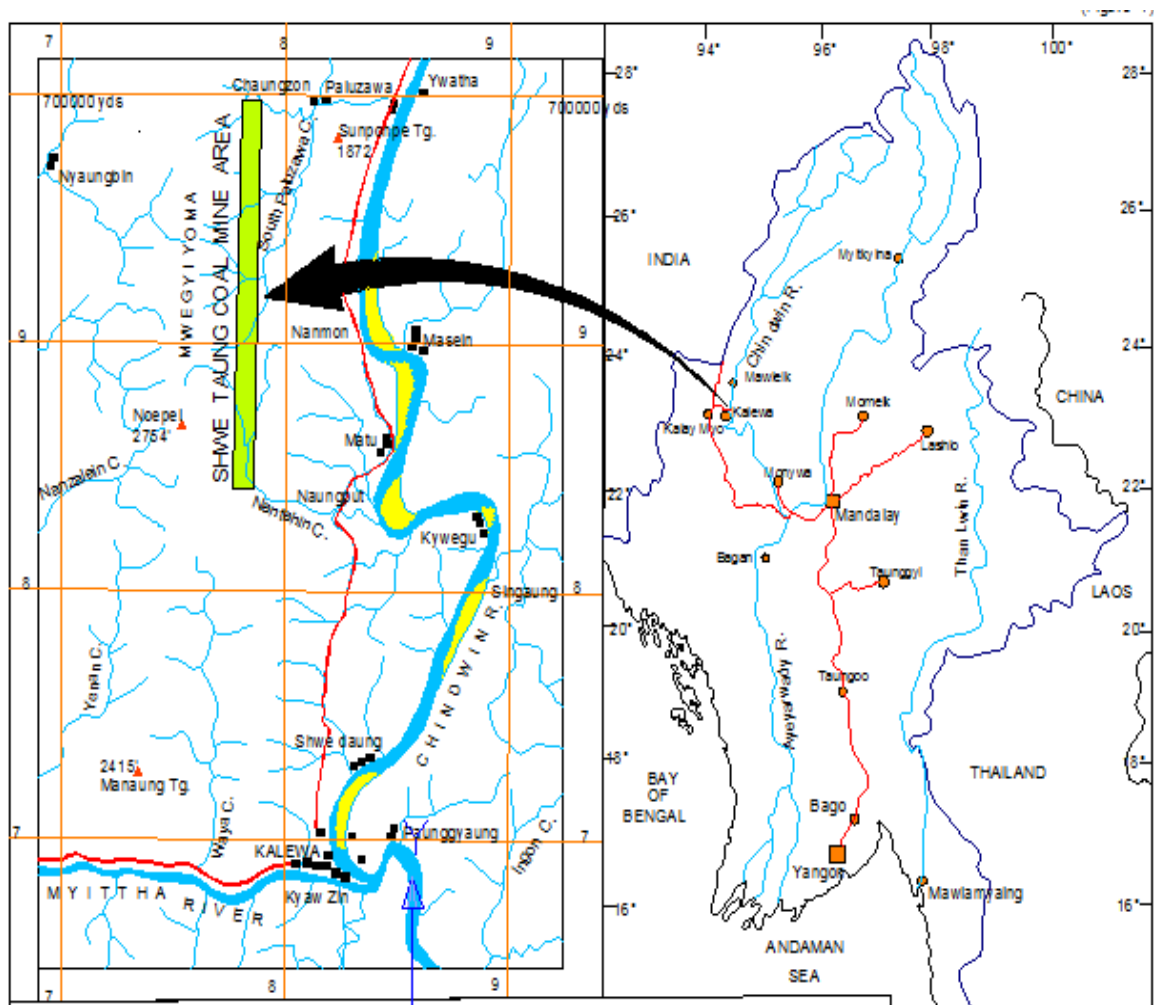


Рисунок 1.6 – Карта местонахождения угольного месторождения «Шве Таунг»

Для погрузки на добычных участках открытых горных работ используются 7 экскаваторов марки Libherr 944 с ковшом объемом $2,5 \text{ м}^3$. Перевозка угля в речной порт осуществляется самосвалами марки Scania P420 8×4 с объемом кузова 20 м^3 и с грузоподъемностью 34 тонны.

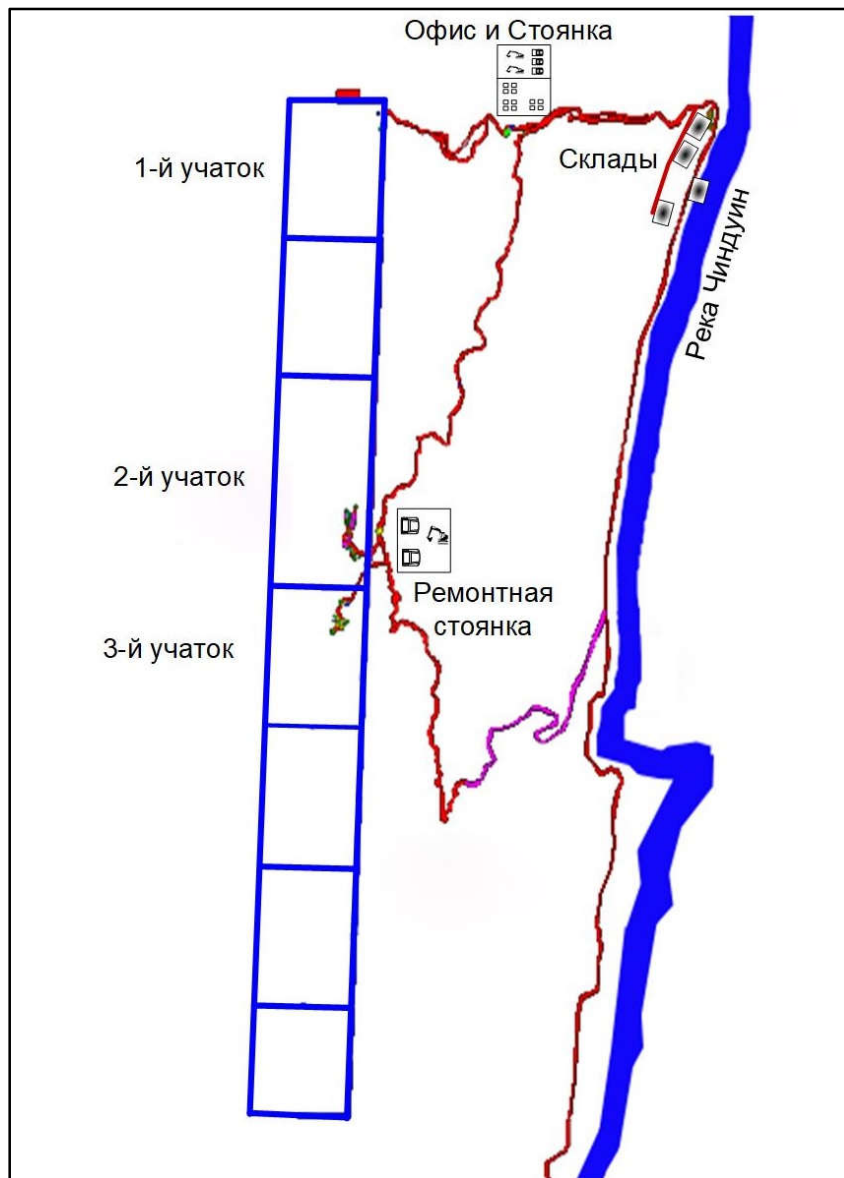


Рисунок 1.7 – Схема размещения участков, складов и маршрутов транспортировки угля месторождения «Шве Таунг»

Распределение горной техники по добычным участкам приведено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Распределение горной техники по добычным участкам

Машина	1-й участок		2-й участок		3-й участок	
	Модель	Кол-во	Модель	Кол-во	Модель	Кол-во
Экскаватор	Liebherr 944	3	Liebherr 944	2	Liebherr 944	2
Самосвал	Scania P420 8×4	-	Scania P420 8×4	-	Scania P420 8×4	-

Месторождение Шве Таунг расположено на гористой местности (рисунок 1.6), поэтому автомобильная трасса имеет большое количество уклонов и поворотов. По факторам геологической карты, уклоны дорог в процентах можно рассчитать по следующей формуле:

$$a = 100 * h/L \quad (1.1)$$

где: a – уклон в %;

h – высота, м;

L – расстояние, м;

Графики полученных уклонов (1.1) приведены на рисунках 1.8 – 1.10.



Рисунок 1.8 – График 1-й дороги с уклонами



Рисунок 1.9 – График 2-й дороги с уклонами



Рисунок 1.10 – График 3-й дороги с уклонами

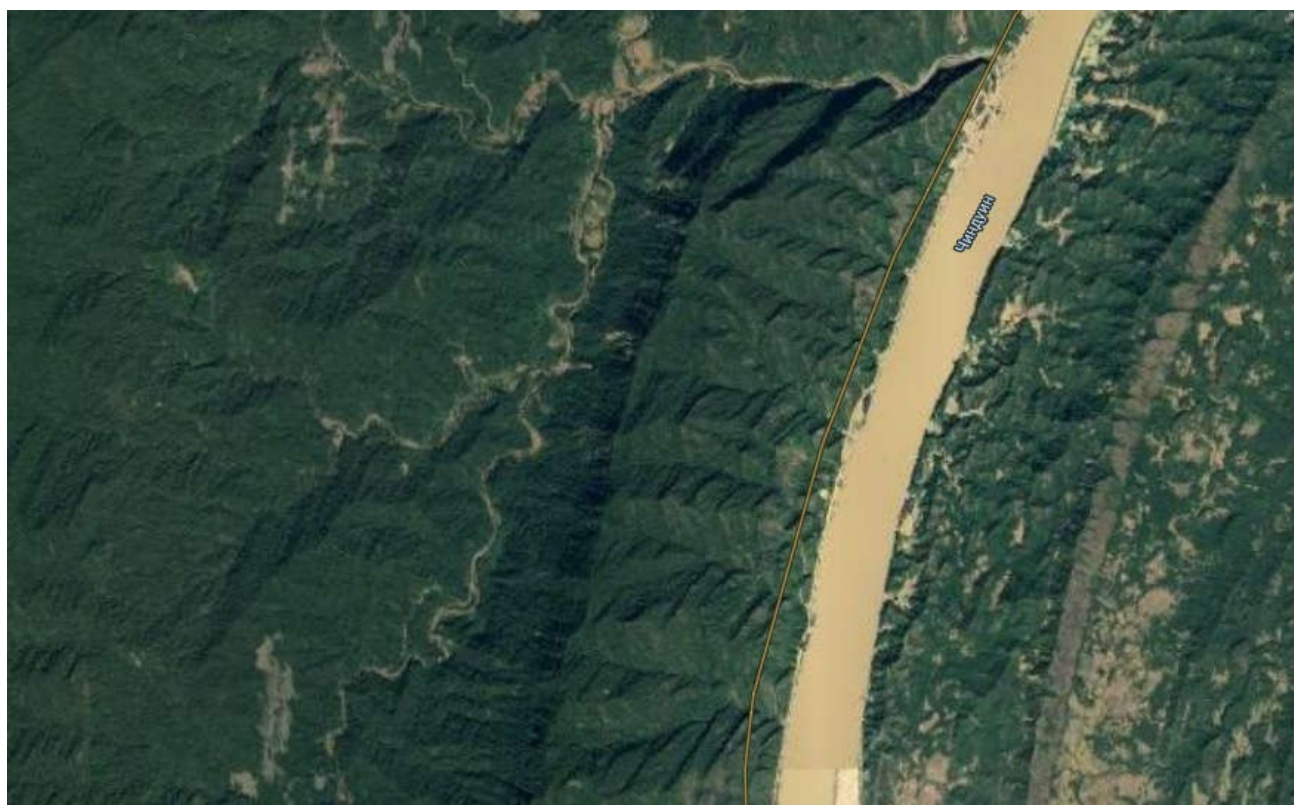


Рисунок 1.11 – Карта с расположением разреза, автомобильной дороги и реки



Рисунок 1.12 – Месторождение «Шве Таунг» и сложная местность

Все автомобильные дороги грунтовые. Поскольку в сезоне дождей бывают сильные ливни, работы по добыче угля приостанавливаются в связи с требованиями безопасности. При необходимости угля для бесперебойной работы цементного завода могут быть осуществляться добыча угля и транспортировка угля после небольшого дождя. При этом величина коэффициента сцепления в зависимости от состояния и вида дорожного покрытия влияет на транспортировку угля. Необходимость в определении коэффициента сцепления возникает для расчета замедления при экстренном торможении автосамосвала, решении ряда вопросов, связанных с маневром и движением на участках с уклонами и подъемами. Величина его зависит главным образом от типа и состояния покрытия дороги, поэтому приближенное значение коэффициента для конкретного случая определено по таблице 1.2. [24].

Таблица 1.2 – Значения коэффициента сцепления в зависимости от состояния и вида дорожного покрытия

Вид дорожного покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сцепления (ф)
Асфальт, бетон	сухой	$0,7 \div 0,8$
	мокрый	$0,5 \div 0,6$
	грязный	$0,25 \div 0,45$
Булыжник, брусчатка	сухие	$0,6 \div 0,7$
	мокрые	$0,4 \div 0,5$
Грунтовая дорога	сухая	$0,5 \div 0,6$
	мокрая	$0,2 \div 0,4$
	грязная	$0,15 \div 0,30$
Песок	влажный	$0,4 \div 0,5$
	сухой	$0,2 \div 0,3$
Асфальт, бетон	обледенелые	$0,09 \div 0,10$
Укатанный снег	обледенелый	$0,12 \div 0,15$
Укатанный снег	без ледяной корки	$0,22 \div 0,25$
Укатанный снег	обледенелый, после россыпи песка	$0,17 \div 0,26$
Укатанный снег	без ледяной корки, после россыпи песка	$0,30 \div 0,38$

Проведенные исследования с расчётами по топографическим картам почв, распространённых в районе месторождения «Шве Таунг», позволили определить величину уклонов с протяженностью участков по всем маршрутам движения автосамосвалов. Зная скорости (при разных состояниях покрытия дорог) и тяговое усилие автомобилей на разных уклонах, можно высчитать ориентировочное время в пути и удельный расход топлива (таблицы 1.3-1.8).

Таблица 1.3 – Уклоны с расчетами скорости движения, тягового усилия и времени при груженом автосамосвале (с 1-ого участка в речной порт)

№	Уклон в (%)	Характеристика профиля дороги	Скорость с учетом покрытия дороги (v, км/ч)			Тяговое усилие (T, кН)	Мощность (N _е , кВт)	Удельный расход топлива (b _е , г/кВтч)	Часовой расход топлива (B _е , г/ч)	Протяженность (l _а , м)	Время в пути (t, с)
			Грунтовое сухое	Грунтовое влажное после небольшого дождя	Грунтовое мокрое после нескольких непродолжите						
1		Горизонтально	35	30	25	26	252,78	203	51313,89	900	92,57
2	5	Подъем	34	17	13	30	283,33	196	55533,33	600	63,53
3	5	Спуск	35	35	35		192,00	217	4166,40	1100	113,14
4	10	Подъем	17	13	10	55	259,72	201	52204,17	600	127,06
5	10	Спуск	35	35	30		192,00	217	4166,40	600	61,71
6	15	Подъем	13	10	8	75	270,83	199	53895,83	300	83,08
7	15	Спуск	35	30	30		192,00	217	4166,40	200	20,57
8	20	Подъем	10	8	7	100	277,78	197,5	54861,11	200	72,00
9	20	Спуск	30	30	30		192,00	217	4166,40	300	36,00
10	25	Подъем	8	7	6	124	275,56	198	54560,00	800	360,00
11	30	Подъем	7	6	6	145	281,94	196,5	55402,08	300	154,29
12	30	Спуск	30	30	25		192,00	217	4166,40	300	36,00
13	35	Спуск	30	25	25		192,00	217	2916,48	600	72,00
14	40	Подъем	5	5	4	188	261,11	202	52744,44	100	72,00
15	40	Спуск	25	25	25		192,00	217	2916,48	200	28,80
16	45	Подъем	5	3	3	208	288,89	195	56333,33	300	216,00
17	50	Спуск	25	20	20		192,00	217	2916,48	300	43,20

Таблица 1.4 – Уклоны с расчетами скорости движения, тягового усилия и времени при порожнем автосамосвале (из речного порта на 1-й участок)

№	Уклон в (%)	Характеристика профиля дороги	Скорость с учетом покрытия дороги (v, км/ч)			Тяговое усилие (T, кН)	Мощность (Ne, кВт)	Удельный расход топлива (be, г/кВтч)	Часовой расход топлива (Be, г/ч)	Протяженность (la, м)	Время в пути (t, с)
			Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня						
1		Горизонтально	50	50	50	10	138,89	220	30555,56	900	64,80
2	5	Спуск	50	50	50		192,00	217	4166,40	600	43,20
3	5	Подъем	50	50	38	10	138,89	220	30555,56	1100	79,20
4	10	Спуск	50	50	40		192,00	217	4166,40	600	43,20
5	10	Подъем	50	38	30	18	250,00	197	49250,00	600	43,20
6	15	Спуск	50	40	40		192,00	217	4166,40	300	21,60
7	15	Подъем	38	30	23	25	263,89	200,5	52909,72	200	18,95
8	20	Спуск	40	40	40		192,00	217	4166,40	200	18,00
9	20	Подъем	30	23	20	32	266,67	200	53333,33	300	36,00
10	25	Спуск	40	40	40		192,00	217	4166,40	800	72,00
11	30	Спуск	23	40	35	40	260,00	202	5252,00	300	46,96
12	30	Подъем	40	17	16		192,00	217	41664,00	300	27,00
13	35	Подъем	20	16	14	46	255,56	202	51622,22	600	108,00
14	40	Спуск	17	35	35	54	260,00	202,5	3685,50	100	21,18
15	40	Подъем	16	14	13	60	266,67	200	53333,33	200	45,00
16	45	Спуск	35	35	30		192,00	217	2916,48	300	30,86
17	50	Подъем	13	12	11	73	263,61	200,5	52854,03	300	83,08

Таблица 1.5 – Уклоны с расчетами скорости движения, тягового усилия и времени при груженом автосамосвале (с 2-ого участка в речной порт)

№	Уклон в (%)	Характеристика профиля дороги	Скорость с учетом покрытия дороги (v, км/ч)			Тяговое усилие (T, кН)	Мощность (Nе, кВт)	Удельный расход топлива (be, г/кВтч)	Часовой расход топлива (Be, г/ч)	Протяженность (la, м)	Время в пути (t, с)
			Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня						
1		Горизонтально	35	30	25	26	252,78	203	51313,89	3000	308,57
2	5	Подъем	34	17	13	28	264,44	200,5	53021,11	400	42,35
3	5	Спуск	35	35	35		192,00	217	4166,40	2400	246,86
4	10	Подъем	17	13	10	55	259,72	215	55840,28	800	169,41
5	10	Спуск	35	35	30		192,00	217	4166,40	1700	174,86
6	15	Подъем	13	10	8	78	281,67	196,5	55347,50	100	27,69
7	15	Спуск	35	30	30		192,00	217	4166,40	900	92,57
8	20	Подъем	10	8	7	100	277,78	197,5	54861,11	1200	432,00
9	20	Спуск	30	30	30		192,00	217	4166,40	300	36,00
10	25	Подъем	8	7	6	124	275,56	198	54560,00	500	225,00
11	30	Спуск	30	30	25		192,00	217	4166,40	100	12,00
12	35	Спуск	30	25	25		192,00	217	2916,48	200	24,00
13	45	Подъем	5	4	3	208	288,89	195	56333,33	100	72,00
14	50	Подъем	4	3	3	230	255,56	202	51622,22	100	90,00
15	50	Спуск	25	20	20		192,00	217	2916,48	100	14,40

Таблица 1.6 – Уклоны с расчетами скорости движения, тягового усилия и времени при порожнем автосамосвале (из речного порта на 2-й участок)

№	Уклон в (%)	Характеристика профиля дороги	Скорость с учетом покрытия дороги (v, км/ч)			Тяговое усилие (T, кН)	Мощность (Ne, кВт)	Удельный расход топлива (be, г/кВтч)	Часовой расход топлива (Be, г/ч)	Протяженность (la, м)	Время в пути (t, с)
			Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня						
1		Горизонтально	50	50	50	10	138,89	220	30555,56	3000	216,00
2	5	Спуск	50	50	50		192,00	217	4166,40	400	28,80
3	5	Подъем	50	50	38	10	138,89	220	30555,56	2400	172,80
4	10	Спуск	50	50	40		192,00	217	4166,40	800	57,60
5	10	Подъем	50	38	30	18	250,00	197	49250,00	1700	122,40
6	15	Спуск	50	40	40		192,00	217	4166,40	100	7,20
7	15	Подъем	38	30	23	25	263,89	200,5	52909,72	900	85,26
8	20	Спуск	40	40	40		192,00	217	4166,40	1200	108,00
9	20	Подъем	30	23	20	32	266,67	200	53333,33	300	36,00
10	25	Спуск	40	40	40		192,00	217	4166,40	500	45,00
11	30	Подъем	20	17	16	46	255,56	202	51622,22	100	18,00
12	35	Подъем	17	16	14	54	255,00	202,5	51637,50	200	42,35
13	45	Спуск	35	35	30		192,00	217	2916,48	100	10,29
14	50	Спуск	35	30	30		192,00	217	2916,48	100	10,29
15	50	Подъем	13	12	11	73	263,61	200,5	52854,03	100	27,69

Таблица 1.7 – Уклоны с расчетами скорости движения, тягового усилия и времени при груженом автосамосвале (с 3-ого участка в речной порт)

№	Уклон в (%)	Характеристика профиля дороги	Скорость с учетом покрытия дороги (v, км/ч)			Тяговое усилие (T, кН)	Мощность (Nе, кВт)	Удельный расход топлива (be, г/кВтч)	Часовой расход топлива (Be, г/ч)	Протяженность (la, м)	Время в пути (t, с)
			Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня						
1		Горизонтально	35	30	25	26	252,78	203	51313,89	3800	390,86
2	5	Подъем	34	17	13	28	264,44	200,5	53021,11	600	63,53
3	5	Спуск	35	35	35		192,00	217	4166,40	2500	257,14
4	10	Подъем	17	13	10	55	259,72	201	52204,17	1200	254,12
5	10	Спуск	35	35	30		192,00	217	4166,40	2000	205,71
6	15	Подъем	13	10	8	78	281,67	196,5	55347,50	400	110,77
7	15	Спуск	35	30	30		192,00	217	4166,40	1000	102,86
8	20	Подъем	10	8	7	100	277,78	197,5	54861,11	1300	468,00
9	20	Спуск	30	30	30		192,00	217	4166,40	200	24,00
10	25	Подъем	8	7	6	124	275,56	198	54560,00	500	225,00
11	25	Спуск	30	30	30		192,00	217	4166,40	200	24,00
12	30	Спуск	30	30	25		192,00	217	4166,40	100	12,00
13	35	Подъем	6	6	5	169	281,67	196,5	55347,50	100	60,00
14	35	Спуск	30	25	25		192,00	217	2916,48	200	24,00
15	45	Подъем	5	4	3	208	288,89	195	56333,33	200	144,00
16	50	Спуск	25	20	20		192,00	217	2916,48	100	14,40

Таблица 1.8 – Уклоны с расчетами скорости движения, тягового усилия и времени при порожнем автосамосвале (из речного порта на 3-й участок)

№	Уклон в (%)	Характеристика профиля дороги	Скорость с учетом покрытия дороги (v, км/ч)			Тяговое усилие (T, кН)	Мощность (N _е , кВт)	Удельный расход топлива (b _е , г/кВтч)	Часовой расход топлива (B _е , г/ч)	Протяженность (l _а , м)	Время в пути (t, с)
			Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня						
1		Горизонтально	50	50	50	10	138,89	220	30555,56	3800	273,60
2	5	Спуск	50	50	50		192,00	217	4166,40	600	43,20
3	5	Подъем	50	50	38	10	138,89	220	30555,56	2500	180,00
4	10	Спуск	50	50	40		192,00	217	4166,40	1200	86,40
5	10	Подъем	50	38	30	18	250,00	197	49250,00	2000	144,00
6	15	Спуск	50	40	40		192,00	217	4166,40	400	28,80
7	15	Подъем	38	30	23	25	263,89	200,5	52909,72	1000	94,74
8	20	Спуск	40	40	40		192,00	217	4166,40	1300	117,00
9	20	Подъем	30	23	20	32	266,67	200	53333,33	200	24,00
10	25	Спуск	40	40	40		192,00	217	4166,40	500	45,00
11	25	Подъем	23	20	17	40	255,56	202	51622,22	200	31,30
12	30	Подъем	20	17	16	46	255,56	202	51622,22	100	18,00
13	35	Спуск	40	35	35		192,00	217	2916,48	100	9,00
14	35	Подъем	17	16	14	54	255,00	202,5	51637,50	200	42,35
15	45	Спуск	35	35	30		192,00	217	2916,48	200	20,57
16	50	Подъем	13	12	11	73	263,61	200,5	52854,03	100	27,69

1.3 Обзор применяемых систем автоматизации при планировании работ карьерного автотранспорта

В диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук Терехина Е.Ю. подробно исследованы транспортные системы глубоких карьеров, энергетические показатели работы различных видов карьерного транспорта, методы энергетической оценки и практических рекомендаций по снижению энергоемкости транспортных систем глубоких карьеров [80].

В диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук Ворошилова Г.А. [19] детально рассматривались разработка методики оптимизации уклонов автодорог при разработке нагорно-глубинных карьеров с применением технологического автомобильного транспорта и эксплуатационные показатели технологического автотранспорта при работе на различных уклонах карьерных автодорог.

В диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук Ребрина Е.Ю. исследовались методики автоматизированных расчётов карьерного автотранспорта для быстрого и точного определения параметров его эксплуатации [66].

В диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук Старикова А.И. [77] исследовано создание комплекса геоинформационных и геометрических математических моделей параметров трасс автомобильных дорог в глубоких карьерах при разработке многосортных сложно структурных залежей полезных ископаемых как математической базы для разработки алгоритмического, информационного и программного обеспечения автоматизированного планирования и управления горно-транспортным процессом на карьерах.

В диссертационной работе на соискание ученой степени доктора технических наук Зырянова И.В. [29] разработано установление закономерностей, связывающих влияющие факторы и динамические нагрузки в опорных конструкциях карьерных автосамосвалов для обоснования методов

управления их 3 ресурсом в экстремальных условиях эксплуатации, что позволит повысить эффективность транспортных систем в процессе развития карьера.

В диссертационной работе на соискание ученой степени доктора технических наук Федотенко В.С. [88] рассматривалось установление условий и обосновании параметров эффективного перехода на отработку разрезов высокими вскрышными уступами при освоении мощных угольных месторождений открытым способом.

В диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук Рыбака Л.В. [70] разработаны методические подходы совершенствования организации работы карьерного транспорта на основе современных информационных технологий.

В диссертационной работе на соискание ученой степени доктора технических наук Решетняка С.П. [67] проанализировано повышение эффективности эксплуатационных мощных глубоких карьеров за счет применения научно обоснованных сходов циклично-поточной технологии с передвижными дробильными перегрузочными комплексами.

Выводы по главе

Разработка способа планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности является важной задачей для развития Республики Союз Мьянма.

Добываемый уголь поставляется на цементный завод «Апачи». Завод работает каждый день. При этом для производства цемента необходим в технологических процессах уголь. Его добывают в 273 км от завода на разрезах, которые находятся в гористой местности. Уголь грузят в автосамосвалы марки Scania P420 8×4 и по грунтовым дорогам доставляют в речной порт с нескольких участков (в настоящее время их три, но общее количество может достигать до 7 и более в будущем). С этих складов уголь грузится на суда, которые транспортируют уголь на цементный завод по реке

Чиндуинг. Работы по добыче угля и его транспортировке зависят от климатических условий. В сезон дождей работа не осуществляется. После сезона дождей дороги частично размываются, что приводит к изменению маршрутов ежегодно.

Анализ местности с учетом климатических особенностей позволил выявить проблемы с транспортной доступностью при работе автосамосвалов на карьере месторождения «Шве Таунг».

Проведенный обзор научной литературы по теме диссертации показал, что вопросам планирования работы автотранспорта на горных предприятиях посвящено большое количество работ. Однако, данные работы не учитывают климатические и местные условия ведения работ.

Основные задачи исследования:

- провести анализ профиля и климатических условий, влияющих на транспортирование горной массы с систем разрезов месторождения «Шве Таунг»;
- провести исследования по определению оптимальных скоростей и тяговых усилий на разных участках маршрута;
- провести исследования по определению оптимальной мощности автосамосвалов и удельного расхода топлива при движении;
- провести исследования по определению времени простоев автосамосвалов и экскаваторов;
- разработать алгоритм планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ И ПОЛУЧЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАСХОДА ТОПЛИВА ОТ ПРОФИЛЯ И ПОКРЫТИЯ ДОРОГ

2.1 Разработка математической модели определения параметров движения автомобилей (груженого и порожнем) на участках маршрутов

При движении груженых автосамосвалов по территории карьера и далее к местам разгрузки по нормам безопасности [117] максимальная скорость должна быть не более 35 км/ч, а порожних автосамосвалов не более 50 км/ч.

Также для конкретного автосамосвала Scania P420 8×4 по данным производителя по диаграммам работы автосамосвала при движении с грузом и порожнем (рисунок 2.1 и 2.2) можно определить тяговое усилие двигателя и скорость на подъемах. После их определения можно рассчитать мощность двигателя (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Определение скорости на спусках

Спуск (%)	Скорость с грузом (v , км/ч)			Скорость порожнем (v , км/ч)		
	Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня	Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня
5	35	35	35	50	50	50
10	35	35	30	50	50	40
15	35	30	30	50	40	40
20	30	30	30	40	40	40
25	30	30	30	40	40	40
30	30	30	25	40	40	35
35	30	25	25	40	35	35
40	25	25	25	35	35	35

Продолжение таблицы 2.1

Спуск (%)	Скорость с грузом (v , км/ч)			Скорость порожнем (v , км/ч)		
	Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня	Грунтовая сухая	Грунтовая мокрая после дождя	Грунтовая мокрая после сильного ливня
45	25	25	20	35	35	30
50	25	20	20	35	30	30

Так как автосамосвалы могут двигаться на спусках в холостом ходу, мощность двигателя соответствует номинальной.

При наличии паспортной характеристики можно провести аппроксимацию функции тягового усилия $f(x)$ в зависимости от скорости по методу наименьших квадратов (с помощью гиперболы).

Паспортная характеристика работы автосамосвала при движении с полной массой автосамосвала применяемых на месторождении автосамосвалов Scania P420 8×4 приведена на рисунках 2.1 и 2.2.

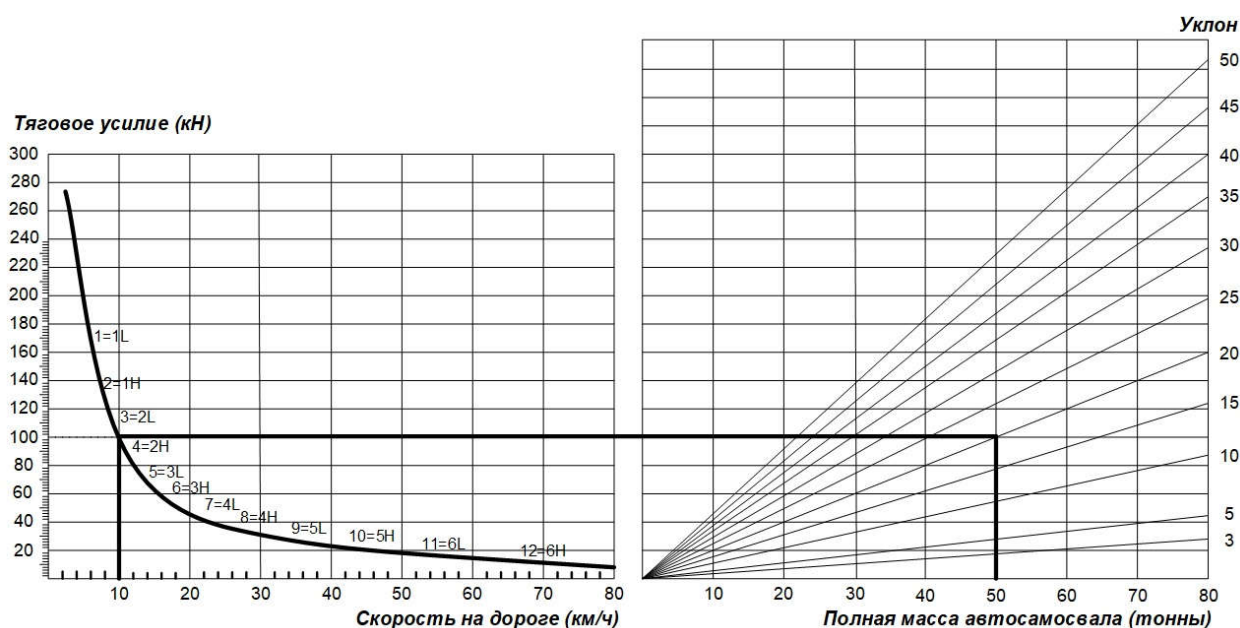


Рисунок 2.1 – Тяговая диаграмма автосамосвала при движении с полной массой

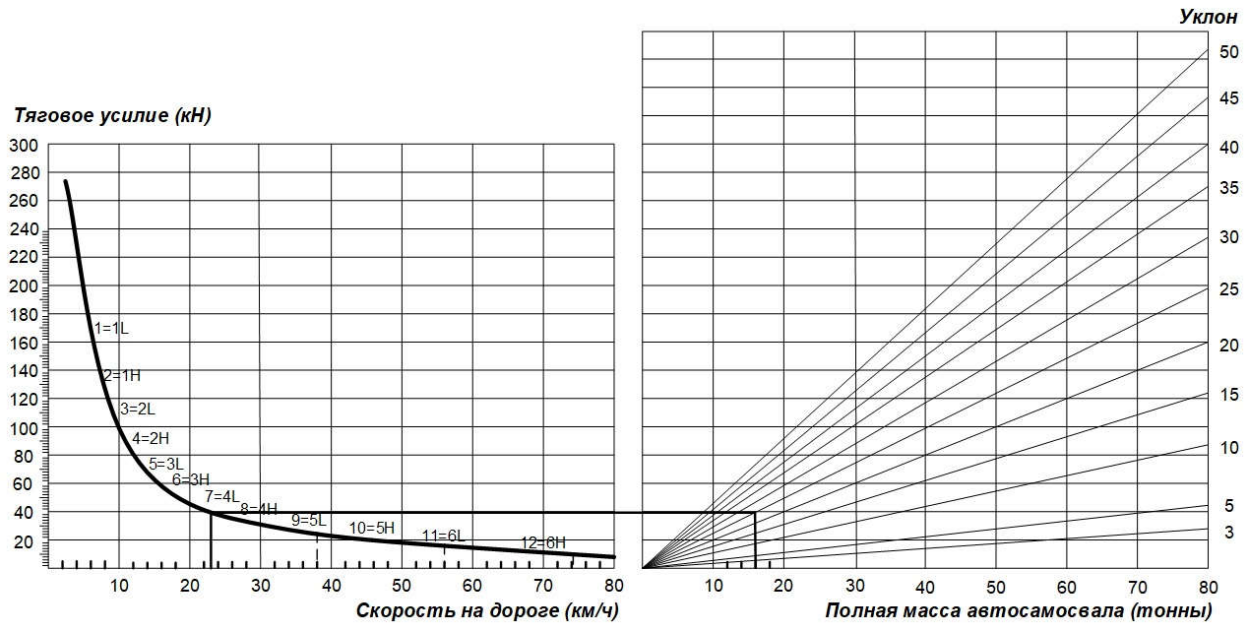


Рисунок 2.2 – Тяговая диаграмма автосамосвала при движении при движении порожнем

По имеющимся данным с паспорта (рисунок 2.1) горной техники определяются величины тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Соотношение величины тягового усилия ($f(x)$) к значению скорости движения автосамосвалов (x)

x	2,5	10	20	40	60	80
$f(x)$	270	100	46	23	15	8

Так как кривая близка к гиперболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде

$$\varphi(x) = a \frac{1}{x^2} + b \frac{1}{x} + c, \quad (2.1)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^4} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^3} + c \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i^2} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^3} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} + c \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} + c \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (2.2)$$

Далее составляется расчетная таблица 2.3.

Таблица 2.3 – Расчетная таблица

i	x	y	1/x	1/x ²	1/x ³	1/x ⁴	y/x	y/x ²
1	2,5	270	0,4	0,16	0,064	0,0256	108	43,2
2	10	100	0,1	0,01	0,001	0,0001	10	1
3	20	46	0,05	0,0025	0,00013	0,0000063	2,3	0,115
4	40	23	0,025	0,00062	0,000016	0,00000039	0,58	0,014
5	60	15	0,017	0,00028	0,0000046	0,000000077	0,25	0,0042
6	80	8	0,013	0,00016	0,00000195	0,000000024	0,1	0,0013
Сумма	212,5	462	0,60	0,17	0,065	0,025706742	121,225	44,33

Можно подставить полученные значения в систему

$$\begin{cases} 0,026a + 0,065b + 0,17c = 44,33 \\ 0,065a + 0,17b + 0,6c = 121,23 \\ 0,17a + 0,6b + 6c = 462 \end{cases} \quad (2.3)$$

Система уравнений (2.3) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3. \quad (2.4)$$

Или с учётом системы (2.4)

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 0,026 & 0,065 & 0,17 \\ 0,065 & 0,17 & 0,6 \\ 0,17 & 0,6 & 6 \end{vmatrix} = \\ &= 0,026 \cdot 0,17 \cdot 6 + 0,17 \cdot 0,065 \cdot 0,6 + 0,065 \cdot 0,6 \cdot 0,17 - \\ &\quad - 0,17 \cdot 0,17 \cdot 0,17 - 0,026 \cdot 0,6 \cdot 0,6 - 0,065 \cdot 0,065 \cdot 6 = \\ &= 0,027 + 0,0068 + 0,0068 - 0,0052 - 0,0094 - 0,025 = 0,00036. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Далее

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 44,33 & 0,065 & 0,17 \\ 121,225 & 0,17 & 0,6 \\ 462 & 0,6 & 6 \end{vmatrix} =$$

$$= 44,33 \cdot 0,17 \cdot 6 + 462 \cdot 0,065 \cdot 0,6 + 121,225 \cdot 0,6 \cdot 0,17 -$$

$$- 462 \cdot 0,17 \cdot 0,17 - 44,33 \cdot 0,6 \cdot 0,6 - 121,225 \cdot 0,065 \cdot 6 =$$

$$= 46,17 + 18,18 + 12,71 - 13,92 - 16,81 - 47,38 = -0,42. \quad (2.6)$$

Следующий этап определяется

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0,026 & 44,33 & 0,17 \\ 0,065 & 121,225 & 0,6 \\ 0,17 & 462 & 6 \end{vmatrix} =$$

$$= 0,026 \cdot 121,225 \cdot 6 + 0,17 \cdot 44,33 \cdot 0,6 + 0,065 \cdot 462 \cdot 0,17 -$$

$$- 0,17 \cdot 121,225 \cdot 0,17 - 0,026 \cdot 462 \cdot 0,6 - 0,065 \cdot 44,33 \cdot 6 =$$

$$= 18,67 + 4,65 + 5,22 - 3,65 - 7,18 - 17,33 = 0,41. \quad (2.7)$$

После

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0,026 & 0,065 & 44,33 \\ 0,065 & 0,17 & 121,225 \\ 0,17 & 0,6 & 462 \end{vmatrix} =$$

$$= 0,026 \cdot 0,17 \cdot 462 + 0,17 \cdot 0,065 \cdot 121,225 + 0,065 \cdot 0,6 \cdot 44,33 -$$

$$- 0,17 \cdot 0,17 \cdot 44,33 - 0,026 \cdot 0,6 \cdot 121,225 - 0,065 \cdot 0,065 \cdot 462 =$$

$$= 2,06 + 1,37 + 1,75 - 1,34 - 1,88 - 1,96 = -0,002. \quad (2.8)$$

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-0,42}{0,00036} = -1181,8, \quad (2.9)$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{0,41}{0,00036} = 1162,51, \quad (2.10)$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-0,002}{0,00036} = -5,87. \quad (2.11)$$

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид

$$f(x) = -\frac{1181,8}{x^2} + \frac{1162,51}{x} - 5,87, \quad (2.12)$$

или, с учетом введенных ранее условных обозначений

$$T = -\frac{1181,8}{v^2} + \frac{1162,51}{v} - 5,87. \quad (2.13)$$

График полученной зависимости (2.13) приведен на рисунке 2.3.

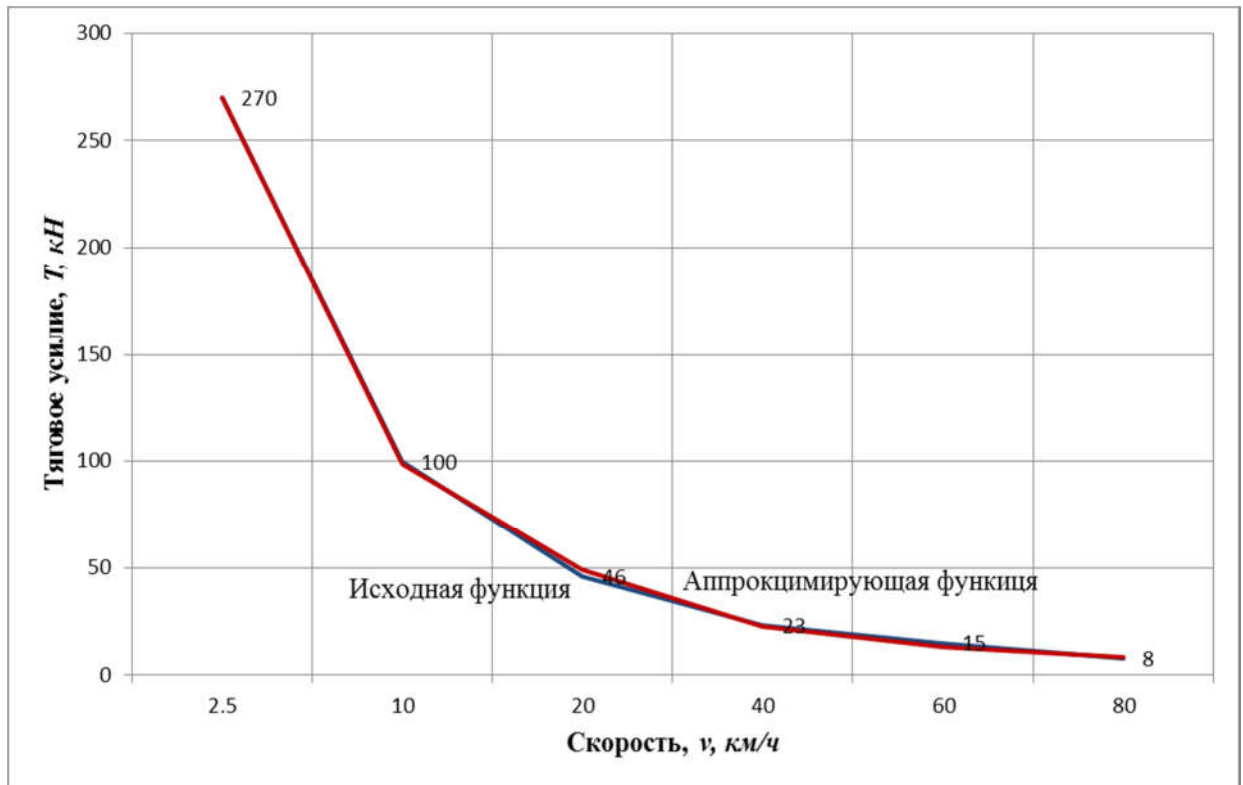


Рисунок 2.3 – График зависимости тягового усилия от скорости движения автосамосвала Scania P420 8×4

Аналогичными методами получаем аппроксимацию функции скорости $f(x)$ в зависимости от уклона (для полностью загруженного автосамосвала), по паспортным данным, приведенным на рисунке 2.1.

Таблица 2.4 – Соотношение величины скорости ($f(x)$) к значению уклона (x)

x	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$f(x)$	34	17	13	10	8	7	6	6	5	4

Так как кривая близка к гиперболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде

$$\varphi(x) = a \frac{1}{x^2} + b \frac{1}{x} + c, \quad (2.14)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^4} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^3} + c \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i^2} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^3} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} + c \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} + c \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (2.15)$$

Далее составляется расчетная таблица 2.5.

Таблица 2.5 – Расчетная таблица

i	x	y	1/x	1/x ²	1/x ³	1/x ⁴	y/x	y/x ²
1	5	34	0,2	0,04	0,008	0,0016	6,8	1,36
2	10	17	0,1	0,01	0,001	0,0001	1,7	0,17
3	15	13	0,067	0,0044	0,00027	0,00002	0,87	0,058
4	20	10	0,05	0,0025	0,000125	0,00000625	0,5	0,025
5	25	8	0,04	0,0016	0,000064	0,00000256	0,32	0,0128
6	30	7	0,033	0,0011	0,000037	0,0000012	0,23	0,0078
7	35	6	0,029	0,00082	0,000023	0,00000067	0,17	0,0049
8	40	6	0,025	0,000625	0,000016	0,0000004	0,15	0,00375
9	45	5	0,022	0,00049	0,000011	0,00000024	0,11	0,0025
10	50	4	0,02	0,0004	0,000008	0,00000016	0,08	0,0016
Сумма	275	110	0,59	0,062	0,0096	0,0017	10,93	1,65

Можно подставить полученные значения в систему

$$\begin{cases} 0,0017a + 0,0096b + 0,062c = 1,65 \\ 0,0096a + 0,062b + 0,59c = 10,93 \\ 0,062a + 0,059b + 10c = 110 \end{cases} \quad (2.16)$$

Система уравнений (2.16) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3. \quad (2.17)$$

Или с учётом системы (2.17)

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0,0017 & 0,0096 & 0,062 \\ 0,0096 & 0,062 & 0,059 \\ 0,062 & 0,059 & 10 \end{vmatrix} =$$

$$= 0,0017 \cdot 0,062 \cdot 10 + 0,062 \cdot 0,096 \cdot 0,059 + 0,096 \cdot 0,059 \cdot 0,062 -$$

$$- 0,062 \cdot 0,062 \cdot 0,062 - 0,0017 \cdot 0,059 \cdot 0,059 - 0,0096 \cdot 0,0096 \cdot 10 =$$

$$= 0,0011 + 0,00035 + 0,00035 - 0,0002 - 0,0006 - 0,0009 =$$

$$0,000019. \quad (2.18)$$

Далее

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 1,65 & 0,0096 & 0,062 \\ 10,93 & 0,062 & 0,059 \\ 110 & 0,059 & 10 \end{vmatrix} =$$

$$= 1,65 \cdot 0,062 \cdot 10 + 110 \cdot 0,0096 \cdot 0,059 + 10,93 \cdot 0,059 \cdot 0,062 -$$

$$- 110 \cdot 0,062 \cdot 0,062 - 1,65 \cdot 0,059 \cdot 0,059 - 10,93 \cdot 0,0096 \cdot 10 =$$

$$= 1,02 + 0,62 + 0,4 - 0,42 - 0,56 - 1,05 = -0,000196. \quad (2.19)$$

Следующий этап определяется

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0,0017 & 1,65 & 0,062 \\ 0,0096 & 10,93 & 0,059 \\ 0,062 & 110 & 10 \end{vmatrix} =$$

$$= 0,0017 \cdot 10,93 \cdot 10 + 0,062 \cdot 1,65 \cdot 0,059 + 0,0096 \cdot 110 \cdot 0,062 -$$

$$- 0,062 \cdot 10,93 \cdot 0,062 - 0,0017 \cdot 110 \cdot 0,059 - 0,0096 \cdot 1,65 \cdot 10 =$$

$$= 0,19 + 0,06 + 0,065 - 0,42 - 0,112 - 0,16 = 0,0031. \quad (2.20)$$

После

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0,0017 & 0,0096 & 1,65 \\ 0,0096 & 0,062 & 10,93 \\ 0,062 & 0,059 & 110 \end{vmatrix} =$$

$$= 0,0017 \cdot 0,062 \cdot 110 + 0,062 \cdot 0,0096 \cdot 10,93 + 0,0096 \cdot 0,059 \cdot 1,65 -$$

$$- 0,062 \cdot 0,062 \cdot 1,65 - 0,0017 \cdot 0,059 \cdot 10,93 - 0,0096 \cdot 0,0096 \cdot 110 =$$

$$= 0,012 + 0,0065 + 0,0092 - 0,0063 - 0,0111 - 0,0101 = 0,000027. \quad (2.21)$$

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-0,000196}{0,000019} = -10,36 \quad (2.22)$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{0,0031}{0,000019} = 164,42 \quad (2.23)$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{0,000027}{0,000019} = 1,43 \quad (2.24)$$

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид

$$f(x) = -\frac{10,36}{x^2} + \frac{164,42}{x} + 1,43, \quad (2.25)$$

или, с учетом введенных ранее условных обозначений

$$v = -\frac{10,36}{a^2} + \frac{164,42}{a} + 1,43. \quad (2.26)$$

График полученной зависимости (2.26) приведен на рисунке 2.4.

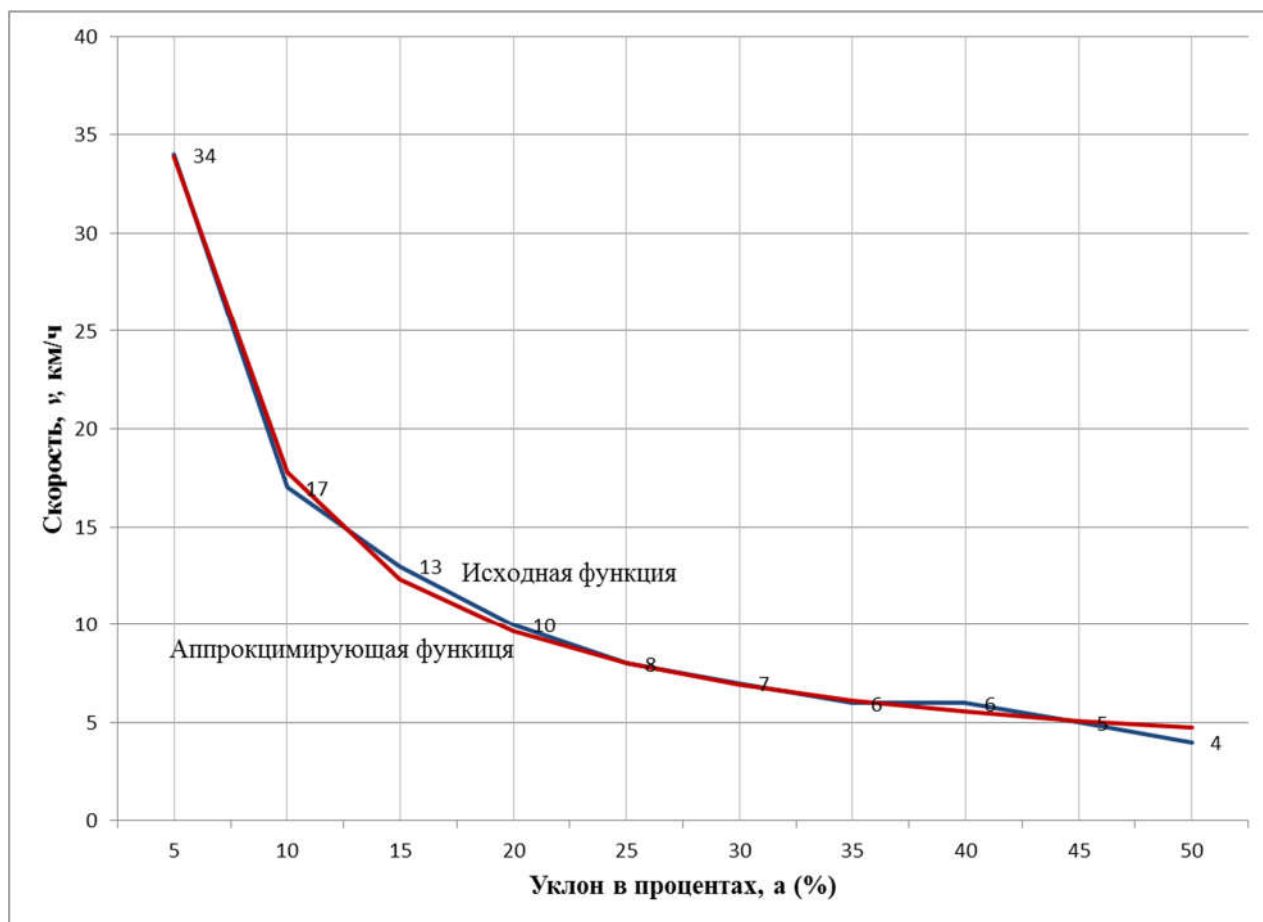


Рисунок 2.4 – График зависимости скорости от уклона при движении с полной массой автосамосвала

Аналогичными методами получаем аппроксимацию функции скорости $f(x)$ в зависимости от уклона (для порожнего автосамосвала), по паспортным данным, приведенным на рисунке 2.2.

Таблица 2.6 – Соотношение величины скорости ($f(x)$) к значению уклона (x)

x	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$f(x)$	55	55	38	30	23	20	17	16	14	13

Так как кривая близка к гиперболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде

$$\varphi(x) = a \frac{1}{x^2} + b \frac{1}{x} + c, \quad (2.27)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^4} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^3} + c \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i^2} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^3} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} + c \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} + c \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (2.28)$$

Далее составляется расчетная таблица 2.7.

Таблица 2.7 – Расчетная таблица

i	x	y	1/x	1/x ²	1/x ³	1/x ⁴	y/x	y/x ²
1	5	55	0,2	0,04	0,008	0,0016	11	2,2
2	10	55	0,1	0,01	0,001	0,0001	5,5	0,55
3	15	38	0,067	0,0044	0,0003	0,00002	2,53	0,17
4	20	30	0,05	0,0025	0,000125	0,00000625	1,5	0,075
5	25	23	0,04	0,0016	0,000064	0,00000256	0,92	0,0368
6	30	20	0,033	0,0011	0,000037	0,0000012	0,67	0,022
7	35	17	0,029	0,00082	0,000023	0,00000067	0,49	0,014
8	40	16	0,025	0,000625	0,000016	0,00000039	0,4	0,01
9	45	14	0,022	0,00049	0,000011	0,00000024	0,31	0,0069
10	50	13	0,02	0,0004	0,000008	0,00000016	0,26	0,0052
Сумма	275	281	0,59	0,062	0,0096	0,0017	23,58	3,089

Можно подставить полученные значения в систему

$$\begin{cases} 0,0017a + 0,0096b + 0,062c = 3,089 \\ 0,0096a + 0,062b + 0,59c = 23,58 \\ 0,062a + 0,59b + 10c = 281 \end{cases} \quad (2.29)$$

Система уравнений (2.29) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3. \quad (2.30)$$

Или с учётом системы (2.30)

$$\begin{aligned}\Delta &= \begin{vmatrix} 0,0017 & 0,0096 & 0,062 \\ 0,0096 & 0,062 & 0,059 \\ 0,062 & 0,059 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 0,0017 \cdot 0,062 \cdot 10 + 0,062 \cdot 0,096 \cdot 0,059 + 0,096 \cdot 0,059 \cdot 0,062 - \\ &- 0,062 \cdot 0,062 \cdot 0,062 - 0,0017 \cdot 0,059 \cdot 0,059 - 0,0096 \cdot 0,0096 \cdot 10 = \\ &= 0,0011 + 0,00035 + 0,00035 - 0,0002 - 0,0006 - 0,0009 = \\ &0,000019.\end{aligned}\quad (2.31)$$

Далее

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= \begin{vmatrix} 3,29 & 0,0096 & 0,062 \\ 24,58 & 0,062 & 0,059 \\ 286 & 0,059 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 3,29 \cdot 0,062 \cdot 10 + 286 \cdot 0,0096 \cdot 0,059 + 24,58 \cdot 0,059 \cdot 0,062 - \\ &- 286 \cdot 0,062 \cdot 0,062 - 3,29 \cdot 0,059 \cdot 0,059 - 24,58 \cdot 0,0096 \cdot 10 = \\ &= 2,04 + 1,61 + 0,89 - 1,099 - 1,13 - 2,35 = -0,046.\end{aligned}\quad (2.32)$$

Следующий этап определяется

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= \begin{vmatrix} 0,0017 & 3,29 & 0,062 \\ 0,0096 & 24,58 & 0,059 \\ 0,062 & 286 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 0,0017 \cdot 24,58 \cdot 10 + 0,062 \cdot 3,29 \cdot 0,059 + 0,0096 \cdot 286 \cdot 0,062 - \\ &- 0,062 \cdot 24,58 \cdot 0,062 - 0,0017 \cdot 286 \cdot 0,059 - 0,0096 \cdot 3,29 \cdot 10 = \\ &= 0,43 + 0,12 + 0,17 - 0,094 - 0,29 - 0,32 = 0,015.\end{aligned}\quad (2.33)$$

После

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= \begin{vmatrix} 0,0017 & 0,0096 & 3,29 \\ 0,0096 & 0,062 & 24,58 \\ 0,062 & 0,059 & 286 \end{vmatrix} = \\ &= 0,0017 \cdot 0,062 \cdot 286 + 0,062 \cdot 0,0096 \cdot 24,58 + 0,0096 \cdot 0,059 \cdot 3,29 - \\ &- 0,062 \cdot 0,062 \cdot 3,29 - 0,0017 \cdot 0,059 \cdot 24,58 - 0,0096 \cdot 0,0096 \cdot 286 = \\ &= 0,03 + 0,015 + 0,018 - 0,013 - 0,025 - 0,026 = -0,000066.\end{aligned}\quad (2.34)$$

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-0,046}{0,000019} = -2427,03 \quad (2.35)$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{0,015}{0,000019} = 804,37 \quad (2.36)$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{0,000066}{0,000019} = -3,47 \quad (2.37)$$

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид

$$f(x) = -\frac{2427,03}{x^2} + \frac{804,37}{x} - 3,47, \quad (2.38)$$

или, с учетом введенных ранее условных обозначений

$$v = -\frac{2427,03}{a^2} + \frac{804,37}{a} - 3,47. \quad (2.39)$$

График полученной зависимости (2.39) приведен на рисунке 2.5.

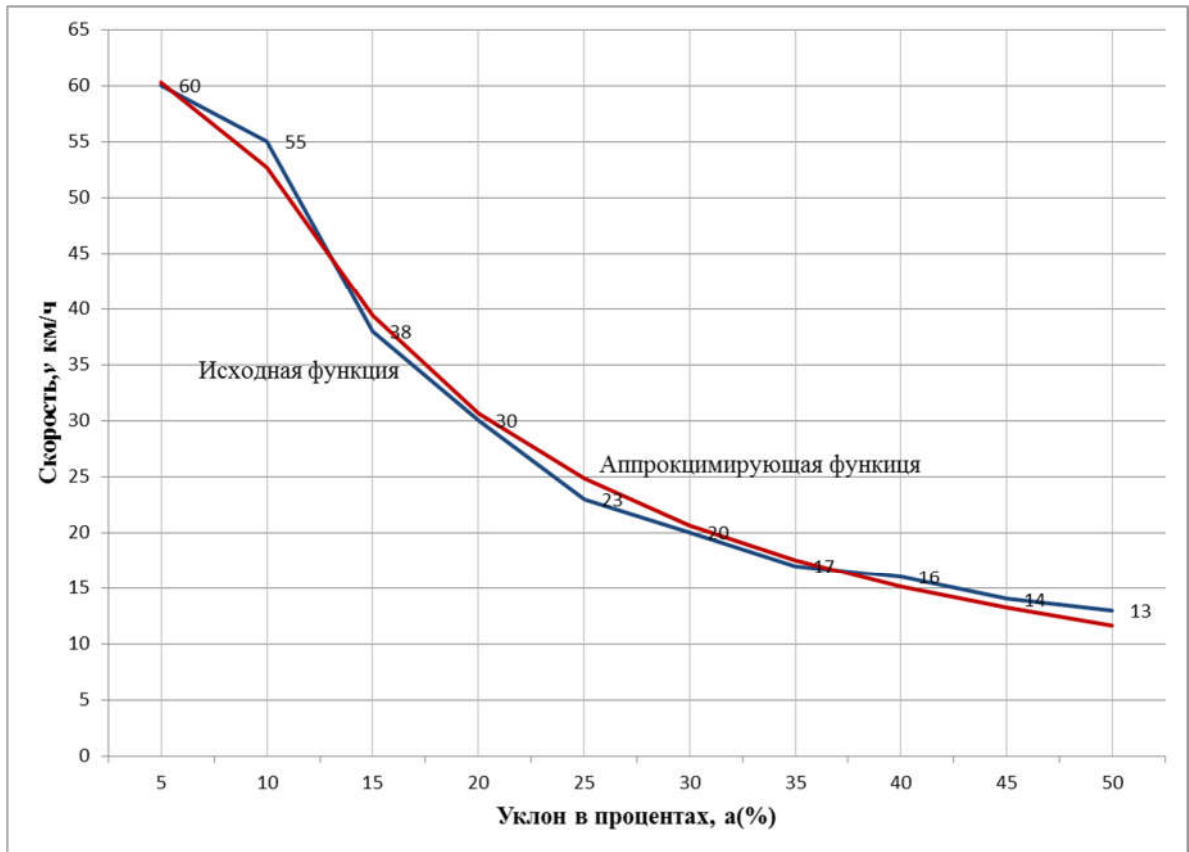


Рисунок 2.5 – График зависимости скорости от уклона при движении порожнего автосамосвала

Аналогичными методами получаем аппроксимацию функции тягового усилия $f(x)$ в зависимости от уклона (для полностью загруженного автосамосвала), по паспортным данным, приведенным на рисунке 2.1.

Таблица 2.8 – Соотношение величины тягового усилия ($f(x)$) к значению уклона (x)

x	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$f(x)$	28	55	78	100	124	145	169	188	208	230

Так как линия близка к параболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде

$$\varphi(x) = ax^2 + bx + c, \quad (2.40)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i + c \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}, \quad (2.41)$$

Далее составляется расчетная таблица 2.9.

Таблица 2.9 – Расчетная таблица

i	x	y	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y
1	5	28	25	125	625	140	700
2	10	55	100	1000	10000	550	5500
3	15	78	225	3375	50625	1170	17550
4	20	100	400	8000	160000	2000	40000
5	25	124	625	15625	390625	3100	77500
6	30	145	900	27000	810000	4350	130500
7	35	169	1225	42875	1500625	5915	207025
8	40	188	1600	64000	2560000	7520	300800
9	45	208	2025	91125	4100625	9360	421200
10	50	230	2500	125000	6250000	11500	575000
Сумма	275	1325	9625	378125	15833125	45605	1775775

Можно подставить полученные значения в систему

$$\begin{cases} 15833125a + 378125b + 9625c = 1775775 \\ 378125a + 9625b + 275c = 45605 \\ 9625a + 275b + 10c = 1325 \end{cases}. \quad (2.42)$$

Система уравнений (2.42) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3. \quad (2.43)$$

Или с учётом системы (2.43)

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 15833125 & 378125 & 9625 \\ 378125 & 9625 & 275 \\ 9625 & 275 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 15833125 \cdot 9625 \cdot 10 + 9625 \cdot 378125 \cdot 275 + 378125 \cdot 275 \cdot 9625 - \\ &- 9625 \cdot 9625 \cdot 9625 - 15833125 \cdot 275 \cdot 275 - 378125 \cdot 378125 \cdot 10 = \\ &= 1523938281250 + 1000849609375 + 1000849609375 \\ &- 891666015625 - 1197380078125 - 1429785156250 = 6806250000 \end{aligned} \quad (2.44)$$

Далее

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} 1775775 & 378125 & 9625 \\ 45605 & 9625 & 275 \\ 1325 & 275 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 1775775 \cdot 9625 \cdot 10 + 1325 \cdot 378125 \cdot 275 + 45605 \cdot 275 \cdot 9625 - \\ &- 1325 \cdot 9625 \cdot 9625 - 1775775 \cdot 275 \cdot 275 - 45605 \cdot 378125 \cdot 10 = \\ &= 170918343750 + 137779296875 + 120710734375 \\ &- 122748828125 - 134292984375 - 172443906250 = -77343750 \end{aligned} \quad (2.45)$$

Следующий этап определяется

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \begin{vmatrix} 15833125 & 1775775 & 9625 \\ 378125 & 45605 & 275 \\ 9625 & 1325 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 15833125 \cdot 45605 \cdot 10 + 9625 \cdot 1775775 \cdot 275 + \\ &+ 378125 \cdot 1325 \cdot 9625 - -9625 \cdot 45605 \cdot 9625 \\ &- 15833125 \cdot 1325 \cdot 275 - 378125 \cdot 1775775 \cdot 10 = \\ &= 7220696656250 + 4700254453125 + 4822275390625 \\ &- 4224875703125 - 5769194921875 - 6714649218750 \\ &= 34506656250. \end{aligned} \quad (2.46)$$

После

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 15833125 & 378125 & 1775775 \\ 378125 & 9625 & 45605 \\ 9625 & 275 & 1325 \end{vmatrix} =$$

$$= 15833125 \cdot 9625 \cdot 1325 + 9625 \cdot 378125 \cdot 45605$$

$$+ 378125 \cdot 275 \cdot 1775775 - 9625 \cdot 9625 \cdot 1775775$$

$$- 15833125 \cdot 275 \cdot 45605 - 378125 \cdot 378125 \cdot 1325 =$$

$$= 201921822265625 + 165977259765625 + 184652853515625$$

$$- 164508905859375 - 198569158046875 - 189446533203125$$

$$= 27338437500.$$
(2.47)

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-77343750}{6806250000} = -0,011$$
(2.48)

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{34506656250}{6806250000} = 5,07$$
(2.49)

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{27338437500}{6806250000} = 4,017$$
(2.50)

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид

$$f(x) = -0,011x^2 + 5,07x + 4,017,$$
(2.51)

или, с учетом введённых ранее условных обозначений

$$T = -0,011a^2 + 5,07a + 4,017.$$
(2.52)

График полученной зависимости (2.52) приведен на рисунке 2.6.

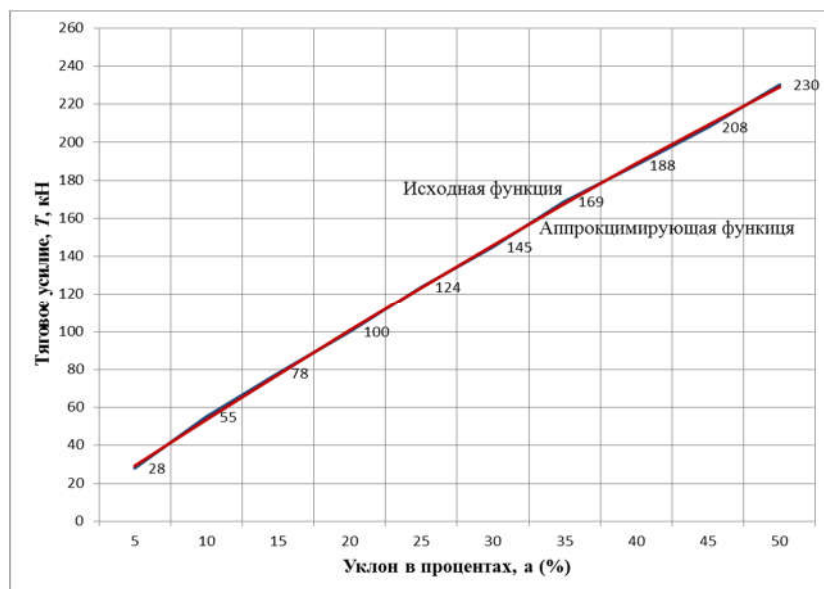


Рисунок 2.6 – График зависимости тягового усилия от уклона при движении с полной массой автосамосвала

Аналогичными методами получаем аппроксимацию функции тягового усилия $f(x)$ в зависимости от уклона (для порожнего автосамосвала), по паспортным данным, приведенным на рисунке 2.2.

Таблица 2.10 – Соотношение величины тягового усилия ($f(x)$) к значению уклона (x)

x	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$f(x)$	10	18	25	32	40	46	54	60	66	73

Так как линия близка к параболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде

$$\varphi(x) = ax^2 + bx + c, \quad (2.53)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i + c \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}, \quad (2.54)$$

Далее составляется расчетная таблица 2.11.

Таблица 2.11 – Расчетная таблица

i	x	y	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y
1	5	10	25	125	625	50	250
2	10	18	100	1000	10000	180	1800
3	15	25	225	3375	50625	375	5625
4	20	32	400	8000	160000	640	12800
5	25	40	625	15625	390625	1000	25000
6	30	46	900	27000	810000	1380	41400
7	35	54	1225	42875	1500625	1890	66150
8	40	60	1600	64000	2560000	2400	96000
9	45	66	2025	91125	4100625	2970	133650
10	50	73	2500	125000	6250000	3650	182500
Сумма	275	424	9625	378125	15833125	14535	565175

Полученные значения подставят в систему

$$\begin{cases} 15833125a + 378125b + 9625c = 565175 \\ 378125a + 9625b + 275c = 14535 \\ 9625a + 275b + 10c = 424 \end{cases} \quad (2.55)$$

Система уравнений (2.55) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3. \quad (2.56)$$

Или с учётом системы (2.56)

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 15833125 & 378125 & 9625 \\ 378125 & 9625 & 275 \\ 9625 & 275 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 15833125 \cdot 9625 \cdot 10 + 9625 \cdot 378125 \cdot 275 + 378125 \cdot 275 \cdot 9625 - \\ &- 9625 \cdot 9625 \cdot 9625 - 15833125 \cdot 275 \cdot 275 - 378125 \cdot 378125 \cdot 10 = \\ &= 1523938281250 + 1000849609375 + 1000849609375 \\ &- 891666015625 - 1197380078125 - 1429785156250 = 6806250000 \end{aligned} \quad (2.57)$$

Далее

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} 565175 & 378125 & 9625 \\ 14535 & 9625 & 275 \\ 424 & 275 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 565175 \cdot 9625 \cdot 10 + 424 \cdot 378125 \cdot 275 + 14535 \cdot 275 \cdot 9625 - \\ &- 424 \cdot 9625 \cdot 9625 - 565175 \cdot 275 \cdot 275 - 14535 \cdot 378125 \cdot 10 = \\ &= 54398093750 + 44089375000 + 38472328125 \\ &- 39279625000 - 42741359375 - 54960468750 = -21656250 \end{aligned} \quad (2.58)$$

Следующий этап определяется

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \begin{vmatrix} 15833125 & 565175 & 9625 \\ 378125 & 14535 & 275 \\ 9625 & 424 & 10 \end{vmatrix} = \\ &= 15833125 \cdot 14535 \cdot 10 + 9625 \cdot 565175 \cdot 275 + 378125 \cdot 424 \\ &\cdot 9625 - \\ &- 9625 \cdot 14535 \cdot 9625 - 15833125 \cdot 424 \cdot 275 - 378125 \cdot 565175 \cdot 10 = \\ &= 2301344718750 + 1495947578125 + 1543128125000 \\ &- 1346531484375 - 1846142375000 - 2137067968750 \\ &= 10678593750. \end{aligned} \quad (2.59)$$

После

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 15833125 & 378125 & 565175 \\ 378125 & 9625 & 14535 \\ 9625 & 275 & 424 \end{vmatrix} =$$

$$= 15833125 \cdot 9625 \cdot 424 + 9625 \cdot 378125 \cdot 14535 + 378125 \cdot 275 \cdot 565175$$

$$- 9625 \cdot 9625 \cdot 565175 - 15833125 \cdot 275 \cdot 14535 - 378125 \cdot 378125 \cdot 424 = \quad (2.60)$$

$$= 64614983125000 + 52899451171875 + 58769369140625$$

$$- 52358165234375 - 63286979765625 - 60622890625000$$

$$= 15767812500.$$

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-21656250}{6806250000} = -0,003 \quad (2.61)$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{10678593750}{6806250000} = 1,57 \quad (2.62)$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{15767812500}{6806250000} = 2,32 \quad (2.63)$$

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид

$$f(x) = -0,003x^2 + 1,57x + 2,32, \quad (2.64)$$

или, с учетом введенных ранее условных обозначений

$$T = -0,003a^2 + 1,57a + 2,32. \quad (2.65)$$

График полученной зависимости (2.65) приведен на рисунке 2.7.

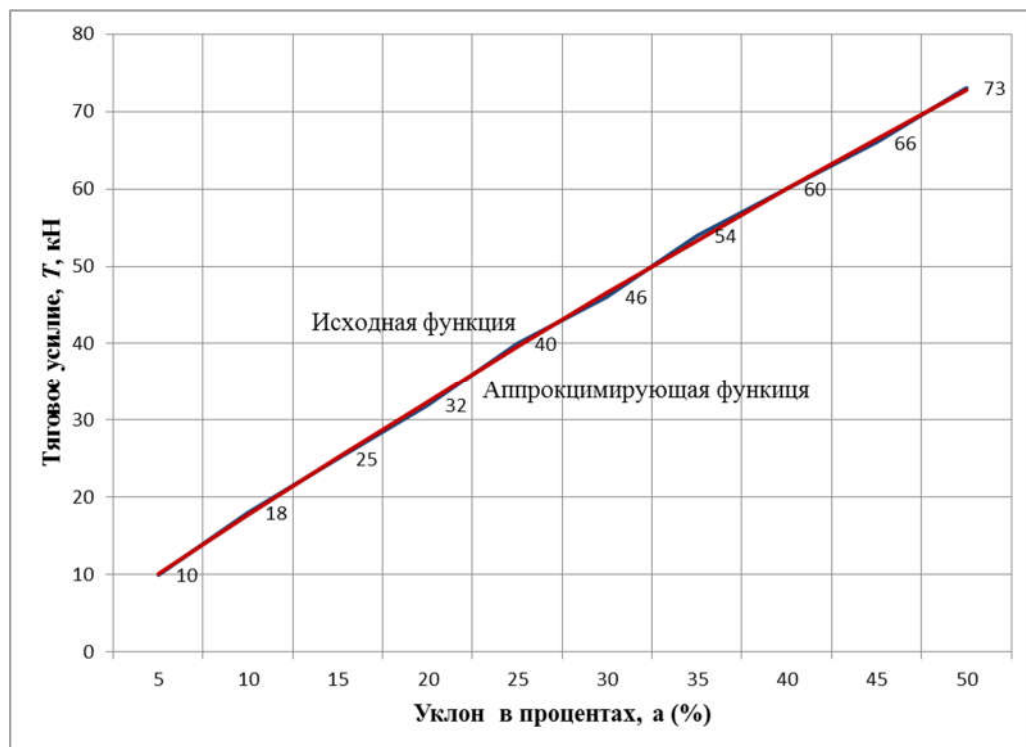


Рисунок 2.7 – График зависимости тягового усилия от уклона при движении порожнего автосамосвала

2.2 Определение эмпирических зависимостей удельного расхода топлива для карьерного автотранспорта

При транспортировании горной массы (полезного ископаемого) при оценке экономических показателей эффективности работ определяющим фактором является удельный расход топлива (b_e , г/кВт·ч).

Величина удельного расхода топлива зависит от многих факторов. К ним можно отнести величину уклона дороги (a %) мощность (N_e , кВт) и скорость движения автомобиля (v , км/ч), тяговое усилие (T , кН), масса машины с грузом (m , кг) и др. В данном диссертационном исследовании рассматриваются только данные пять факторов.

Для планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности необходимо на первом этапе определить зависимость:

$$b_e = f(a, v, T, N_e, m). \quad (2.66)$$

Мощность двигателя рассчитывается по формуле:

$$N_e = T \cdot v \quad (2.67)$$

где N_e – мощность двигателя, кВт;

T – тяговое усилие, кН;

v – скорость движения автосамосвала, км/ч.

С учетом расчета мощности двигателя, можно вычислять удельный расход топлива.

По имеющимся данным с паспорта (рисунок 2.8) горной техники определяются величины мощности от значения оборотов в минуту двигателя автосамосвала (таблица 2.12).

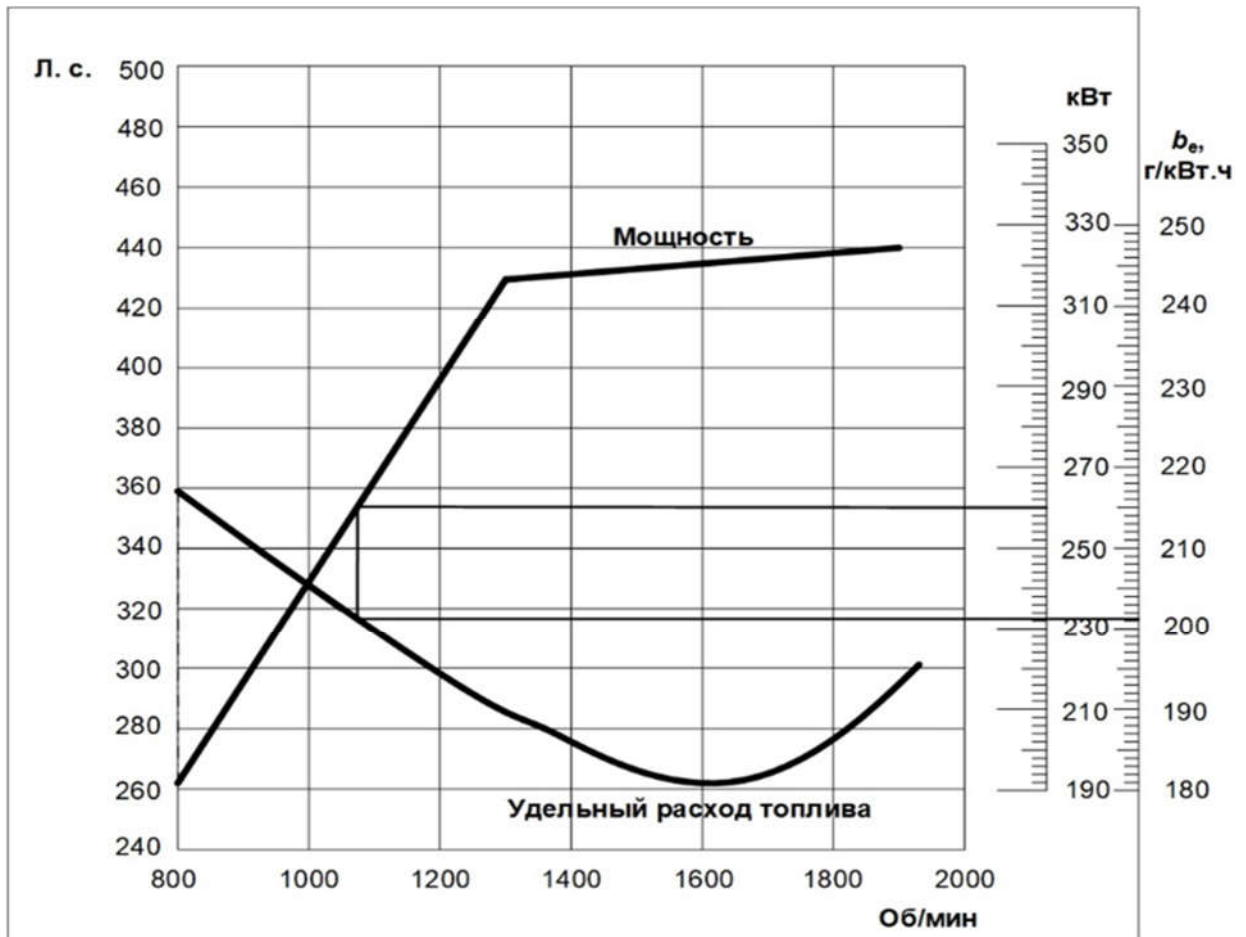


Рисунок 2.8 – График зависимости мощности и удельного расхода топлива от оборотов в минуту

Таблица 2.12 – Соотношение величины мощности ($f(x)$) к значению оборотов в минуту двигателя автосамосвала (x)

x	1000	1200	1300	1400	1600	1800	1900
$f(x)$	242	291	316	318	320	323	324

Так как кривая близка к гиперболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде

$$\varphi(x) = a \frac{1}{x^2} + b \frac{1}{x} + c, \quad (2.68)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^4} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^3} + c \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i^2} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^3} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} + c \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i} \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} + c \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (2.69)$$

Далее составляется расчетная таблица 2.13.

Таблица 2.13 – Расчетная таблица

i	x	y	1/x	1/x ²	1/x ³	1/x ⁴	y/x	y/x ²
1	1000	242	0,001	0,000001	0,0000000001	0,00000000000001	0,242	0,000242
2	1200	291	0,00083	0,00000069	0,00000000058	0,000000000000048	0,24	0,0002
3	1300	316	0,00077	0,00000059	0,00000000046	0,000000000000035	0,24	0,00019
4	1400	318	0,00071	0,00000051	0,00000000036	0,000000000000026	0,23	0,00016
5	1600	320	0,000625	0,00000039	0,00000000024	0,000000000000015	0,2	0,000125
6	1800	323	0,00056	0,00000031	0,00000000017	0,0000000000000095	0,18	0,000099
7	1900	324	0,00053	0,00000028	0,00000000015	0,0000000000000077	0,17	0,00009
Сумма	10200	2134	0,005	0,0000038	0,000000003	0,000000000000024	1,5	0,0011

Можно подставить полученные значения в систему

$$\begin{cases} 0,000000000000024a + 0,0000000003b + 0,0000038c = 0,0011 \\ 0,0000000003a + 0,0000038b + 0,005c = 1,5 \\ 0,0000038a + 0,005b + 7c = 2134 \end{cases} \quad (2.70)$$

Система уравнений (2.70) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3. \quad (2.71)$$

Или с учётом системы (2.71)

$$\begin{aligned}
\Delta &= \begin{vmatrix} 0,0000000000024 & 0,000000003 & 0,0000038 \\ 0,000000003 & 0,0000038 & 0,005 \\ 0,0000038 & 0,005 & 7 \end{vmatrix} = \\
&= 0,0000000000024 \cdot 0,0000038 \cdot 7 + 0,0000038 \cdot 0,000000003 \cdot 0,005 \\
&\quad + 0,000000003 \cdot 0,005 \cdot 0,0000038 - 0,0000038 \cdot 0,0000038 \\
&\quad \cdot 0,0000038 \\
&\quad - 0,0000000000024 \cdot 0,005 \cdot 0,005 - 0,000000003 \cdot 0,000000003 \cdot 7 = \\
&= 0,00000000000000064 + 0,00000000000000056 \\
&\quad + 0,00000000000000056 - 0,00000000000000054 \\
&\quad - 0,00000000000000061 - 0,00000000000000061 \\
&= 0,000000000000000044.
\end{aligned} \tag{2.72}$$

Далее

$$\begin{aligned}
\Delta_1 &= \begin{vmatrix} 0,0011 & 0,000000003 & 0,0000038 \\ 1,5 & 0,0000038 & 0,005 \\ 2134 & 0,005 & 7 \end{vmatrix} = \\
&= 0,0011 \cdot 0,0000038 \cdot 7 + 2134 \cdot 0,000000003 \cdot 0,005 \\
&\quad + 1,5 \cdot 0,005 \cdot 0,0000038 - 2134 \cdot 0,0000038 \cdot 0,0000038 \\
&\quad - 0,0011 \cdot 0,005 \cdot 0,005 - 1,5 \cdot 0,000000003 \cdot 7 = \\
&= 0,000000003 + 0,000000032 + 0,000000029 - 0,000000003 \\
&\quad - 0,000000028 - 0,000000031 = -0,000000000022.
\end{aligned} \tag{2.73}$$

Следующий этап определяется

$$\begin{aligned}
\Delta_2 &= \begin{vmatrix} 0,0000000000024 & 0,0011 & 0,0000038 \\ 0,000000003 & 1,5 & 0,005 \\ 0,0000038 & 2134 & 7 \end{vmatrix} = \\
&= 0,0000000000024 \cdot 1,5 \cdot 7 + 0,0000038 \cdot 0,0011 \cdot 0,005 \\
&\quad + 0,000000003 \cdot 2134 \cdot 0,0000038 - 0,0000038 \cdot 1,5 \cdot 0,0000038 \\
&\quad - 0,0000000000024 \cdot 2134 \cdot 0,005 - 0,000000003 \cdot 0,0011 \cdot 7 = \\
&= 0,0000000000025 + 0,000000000021 + 0,000000000024 \\
&\quad - 0,000000000021 - 0,000000000026 - 0,000000000023 \\
&= 0,000000000000027.
\end{aligned} \tag{2.74}$$

После

$$\begin{aligned}
\Delta_3 &= \begin{vmatrix} 0,0000000000024 & 0,000000003 & 0,0011 \\ 0,000000003 & 0,0000038 & 1,5 \\ 0,0000038 & 0,005 & 2134 \end{vmatrix} = \\
&= 0,0000000000024 \cdot 0,0000038 \cdot 2134 + 0,0000038 \cdot 0,000000003 \cdot 1,5 \\
&\quad + 0,000000003 \cdot 0,005 \cdot 0,0011 - 0,0000038 \cdot 0,0000038 \cdot 0,0011 \\
&\quad - 0,0000000000024 \cdot 0,005 \cdot 1,5 - 0,000000003 \cdot 0,000000003 \cdot 2134 = \\
&= 0,00000000000002 + 0,000000000000017 + 0,000000000000016 \\
&\quad - 0,000000000000016 - 0,000000000000018 - 0,000000000000019 \\
&= 0,000000000000000064.
\end{aligned} \tag{2.75}$$

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-0,00000000000022}{0,00036} = -507469952,4, \tag{2.76}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{0,0000000000000027}{0,00036} = 604778,17, \tag{2.77}$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{0,000000000000000064}{0,00036} = 144,32. \tag{2.78}$$

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид

$$f(x) = -\frac{507469952,4}{x^2} + \frac{604778,17}{x} + 144,32, \tag{2.79}$$

или, с учетом введенных ранее условных обозначений

$$N_e = -\frac{507469952,4}{r^2} + \frac{604778,17}{r} + 144,32. \tag{2.80}$$

График полученной зависимости (2.80) приведен на рисунке 2.9.

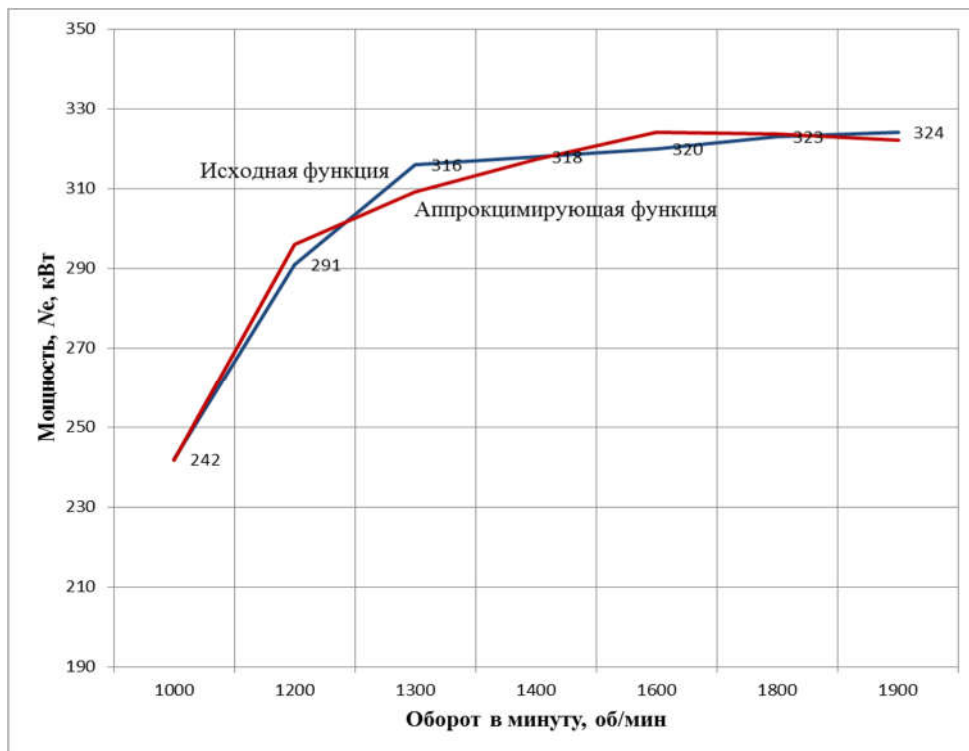


Рисунок 2.9 – График зависимости мощности от оборотов в минуту двигателя автосамосвала

Аналогичными методами получаем аппроксимацию функции удельного расхода топлива $f(x)$ в зависимости от оборотов в минуту двигателя автосамосвала, по паспортным данным, приведенным на рисунке 2.8.

Таблица 2.14 – Соотношение величины удельного расхода топлива ($f(x)$) к значению оборотов в минуту двигателя автосамосвала (x)

x	1050	1200	1400	1600	1800	1925
$f(x)$	202,5	194,5	185,8	181	186,3	195

Так как линия близка к параболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде

$$\varphi(x) = ax^2 + bx + c, \quad (2.81)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i + c \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}, \quad (2.82)$$

Далее составляется расчетная таблица 2.15.

Таблица 2.15 – Расчетная таблица

i	x	y	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y
1	1050	202,5	1102500	1157625000	1215506250000	212625	223256250
2	1200	194,5	1440000	1728000000	2073600000000	233400	280080000
3	1400	185,8	1960000	2744000000	3841600000000	260120	364168000
4	1600	181	2560000	4096000000	6553600000000	289600	463360000
5	1800	186,3	3240000	5832000000	10497600000000	335340	603612000
6	1925	195	3705625	7133328125	13731656640625	375375	722596875
Сумма	8975	1145,1	14008125	22690953125	37913562890625	1706460	2657073125

Можно подставить полученные значения в систему

$$\begin{cases} 37913562890625a + 22690953125b + 14008125c = 2657073125 \\ 22690953125a + 14008125b + 8975c = 1706460 \\ 14008125a + 8975b + 6c = 1145,1 \end{cases} \quad (2.83)$$

Система уравнений (2.83) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3. \quad (2.84)$$

Или с учётом системы (2.84)

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 37913562890625 & 22690953125 & 14008125 \\ 22690953125 & 14008125 & 8975 \\ 14008125 & 8975 & 6 \end{vmatrix} = \\ &= 37913562890625 \cdot 14008125 \cdot 6 + 14008125 \cdot 22690953125 \cdot 8975 \\ &+ 22690953125 \cdot 8975 \cdot 14008125 - 14008125 \cdot 14008125 \cdot 14008125 \\ &- 37913562890625 \cdot 8975 \cdot 8975 - 22690953125 \cdot 22690953125 \cdot 6 = \\ &= 3186587569003420000000 + 2852772927003660000000 \\ &+ 2852772927003660000000 - 2748780273192630000000 \\ &- 3053961186816650000000 - 3089276122325680000000 \\ &= 115840675780493000 \end{aligned} \quad (2.85)$$

Далее

$$\begin{aligned}
\Delta_1 &= \begin{vmatrix} 2657073125 & 22690953125 & 14008125 \\ 1706460 & 14008125 & 8975 \\ 1145,1 & 8975 & 6 \end{vmatrix} = \\
&= 2657073125 \cdot 14008125 \cdot 6 + 1145,1 \cdot 22690953125 \cdot 8975 \\
&+ 1706460 \cdot 8975 \cdot 14008125 - 1145,1 \cdot 14008125 \cdot 14008125 \\
&- 2657073125 \cdot 8975 \cdot 8975 - 1706460 \cdot 22690953125 \cdot 6 = \\
&= 223323674814844000 + 233201108550352000 \\
&+ 214541137262813000 - 224700185844492000 \\
&- 214028900889453000 - 232327223218125000 \\
&= 9610675937536
\end{aligned} \tag{2.86}$$

Следующий этап определяется

$$\begin{aligned}
\Delta_2 &= \begin{vmatrix} 37913562890625 & 2657073125 & 14008125 \\ 22690953125 & 1706460 & 8975 \\ 14008125 & 1145,1 & 6 \end{vmatrix} = \\
&= 37913562890625 \cdot 1706460 \cdot 6 + 14008125 \cdot 2657073125 \cdot 8975 \\
&+ 22690953125 \cdot 1145,1 \cdot 14008125 - 14008125 \cdot 1706460 \cdot 14008125 \\
&- 37913562890625 \cdot 1145,1 \cdot 8975 - 22690953125 \cdot 2657073125 \cdot 6 = \\
&= 388187871182016000000 + 334054996910537000000 \\
&+ 363978861137815000000 - 334854492303023000000 \\
&- 389648017272841000000 - 361749130374434000000 \\
&= -29910719929778200.
\end{aligned} \tag{2.87}$$

После

$$\begin{aligned}
\Delta_3 &= \begin{vmatrix} 37913562890625 & 22690953125 & 2657073125 \\ 22690953125 & 14008125 & 1706460 \\ 14008125 & 8975 & 1145,1 \end{vmatrix} = \\
&= 37913562890625 \cdot 14008125 \cdot 1145,1 + 14008125 \cdot 22690953125 \\
&\cdot 1706460 + 22690953125 \cdot 8975 \cdot 2657073125 - 14008125 \\
&\cdot 14008125 \cdot 2657073125 - 37913562890625 \cdot 8975 \\
&\cdot 1706460 - 22690953125 \cdot 22690953125 \cdot 1145,1 = \\
&= 608160237544302000000000 + 542411463957066000000000 \\
&+ 541116407518424000000000 - 521390992044281000000000 \\
&- 580664357309765000000000 - 589588347945857000000000 \\
&= 44411719889939600000.
\end{aligned} \tag{2.88}$$

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{9610675937536}{115840675780493000} = 0,000083 \tag{2.89}$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-29910719929778200}{115840675780493000} = -0,26 \tag{2.90}$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{44411719889939600000}{115840675780493000} = 383,39 \quad (2.91)$$

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид:

$$f(x) = 0,000083x^2 - 0,26x + 383,39, \quad (2.92)$$

или, с учетом введенных ранее условных обозначений:

$$b_e = 0,000083 r^2 - 0,26 r + 383,39. \quad (2.93)$$

График полученной зависимости (2.93) приведен на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – График зависимости удельного расхода топлива от оборотов в минуту двигателя автосамосвала

Аналогичными методами получаем аппроксимацию функции удельного расхода топлива $f(x)$ в зависимости от мощности двигателя автосамосвала, по паспортным данным, приведенным на рисунке 2.8.

Таблица 2.16 – Соотношение величины удельного расхода топлива ($f(x)$) к значению мощности (x)

x	166,67	192	255	263,89	275,56	288,89
$f(x)$	220	217	202,5	200,5	198	195

Так как линия близка к параболе, то аппроксимирующий многочлен необходимо искать в виде:

$$\varphi(x) = ax^2 + bx + c, \quad (2.94)$$

где a, b, c – искомые коэффициенты.

Эти коэффициенты можно определить по методу наименьших квадратов, то его коэффициенты вычисляются из системы:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i + c \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}, \quad (2.95)$$

Далее составляется расчетная таблица 2.16.

Таблица 2.16 – Расчетная таблица

i	x	y	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y
1	166,67	220	27778,89	4629907,41	771666668,5	36667,4	6111355,56
2	192	217	36864	7077888	1358954496	41664	7999488
3	255	202,5	65025	16581375	4228250625	51637,5	13167562,5
4	263,89	200,5	69637,93	18376753,9	4849441587	52909,95	13962405,39
5	275,56	198	75933,31	20924183,9	5765868114	54560,88	15034796,09
6	288,89	195	83457,43	24110017,56	6965142973	56333,55	16274199,26
Сумма	1442,01	1233	358696,57	91700125,77	23939324464	293773,28	72549806,8

Можно подставить полученные значения в систему:

$$\begin{cases} 23939324464a + 91700125,77b + 358696,57c = 72549806,8 \\ 91700125,77a + 358696,57b + 1442,01c = 293773,28 \\ 358696,57a + 1442,01b + 6c = 1233 \end{cases}. \quad (2.96)$$

Система уравнений (2.96) решается методом Крамера. Первоначально вычисляется определитель матрицы «три на три», можно раскрыть по формуле

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_3 b_1 c_2 + a_2 b_3 c_1 - a_3 b_2 c_1 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3. \quad (2.97)$$

Или с учётом системы (2.97)

$$\begin{aligned}
\Delta &= \begin{vmatrix} 23939324464 & 91700125,77 & 358696,57 \\ 91700125,77 & 358696,57 & 1442,01 \\ 358696,57 & 1442,01 & 6 \end{vmatrix} = \\
&= 23939324464 \cdot 358696,57 \cdot 6 + 358696,57 \cdot 91700125,77 \cdot 1442,01 \\
&+ 91700125,77 \cdot 1442,01 \cdot 358696,57 - 358696,57 \cdot 358696,57 \cdot 358696,57 \\
&- 23939324464 \cdot 1442,01 \cdot 1442,01 - 91700125,77 \cdot 91700125,77 \cdot 6 = \\
&= 51521720965446400 + 47431343168373800 + 47431343168373800 \\
&- 46151057771944100 - 49779259886616900 - 50453478397201500 \\
&= 611246431392
\end{aligned} \tag{2.98}$$

Далее

$$\begin{aligned}
\Delta_1 &= \begin{vmatrix} 72549806,8 & 91700125,77 & 358696,57 \\ 293773,28 & 358696,57 & 1442,01 \\ 1233 & 1442,01 & 6 \end{vmatrix} = \\
&= 72549806,8 \cdot 358696,57 \cdot 6 + 1233 \cdot 91700125,77 \cdot 1442,01 \\
&+ 293773,28 \cdot 1442,01 \cdot 358696,57 - 1233 \cdot 358696,57 \cdot 358696,57 \\
&- 72549806,8 \cdot 1442,01 \cdot 1442,01 - 293773,28 \cdot 91700125,77 \cdot 6 = \\
&= 156140199675594 + 163042670479525 + 151952474473142 \\
&- 158641758844599 - 150859548802968 - 161634277591866 \\
&= -240611173
\end{aligned} \tag{2.99}$$

Следующий этап определяется

$$\begin{aligned}
\Delta_2 &= \begin{vmatrix} 23939324464 & 72549806,8 & 358696,57 \\ 91700125,77 & 293773,28 & 1442,01 \\ 358696,57 & 1233 & 6 \end{vmatrix} = \\
&= 23939324464 \cdot 293773,28 \cdot 6 + 358696,57 \cdot 72549806,8 \cdot 1442,01 \\
&+ 91700125,77 \cdot 1233 \cdot 358696,57 - 358696,57 \cdot 293773,28 \cdot 358696,57 \\
&- 23939324464 \cdot 1233 \cdot 1442,01 - 91700125,77 \cdot 72549806,8 \cdot 6 = \\
&= 42196402493905800 + 37525954889034000 + 40556477504736400 \\
&- 37797817556803000 - 42564078917759700 - 39916958446807300 \\
&= -20033693856.
\end{aligned} \tag{2.100}$$

После

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 23939324464 & 91700125,77 & 72549806,8 \\ 91700125,77 & 358696,57 & 293773,28 \\ 358696,57 & 1442,01 & 1233 \end{vmatrix} =$$

$$= 23939324464 \cdot 358696,57 \cdot 1233 + 358696,57 \cdot 91700125,77 \cdot 293773,28$$

$$+ 91700125,77 \cdot 1442,01 \cdot 72549806,8 - 358696,57 \cdot 358696,57 \cdot 72549806,8$$

$$- 23939324464 \cdot 1442,01 \cdot 293773,28 - 91700125,77 \cdot 91700125,77 \cdot 1233 = \quad (2.101)$$

$$= 10587713658399200000 + 9662943405539520000$$

$$+ 9593442208313430000 - 9334492257914690000$$

$$- 10141272393372900000 - 10368189810624900000$$

$$= 144810339721216.$$

Далее определяются значения коэффициентов

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-240611173}{611246431392} = -0,0004 \quad (2.102)$$

$$b = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-20033693856}{611246431392} = -0,033 \quad (2.103)$$

$$c = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{144810339721216}{611246431392} = 236,91 \quad (2.104)$$

Аппроксимирующая зависимость тягового усилия от значения скорости движения автосамосвалов примет вид

$$f(x) = -0,0004x^2 - 0,033x + 236,91, \quad (2.105)$$

или, с учетом введенных ранее условных обозначений

$$b_e = -0,0004N_e^2 - 0,033N_e + 236,91. \quad (2.106)$$

График полученной зависимости (2.106) приведен на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – График зависимости удельного расхода топлива от мощности двигателя автосамосвала

2.3 Разработка алгоритмов согласованной работы автомобилей и экскаваторов, обеспечивающий необходимые объемы наполнения угольных складов и режим работы автомобилей близкий к номинальному

С учетом проведенных зависимостей построен алгоритм работы автомобильного транспорта для перевозки угля. (рисунок 2.12)

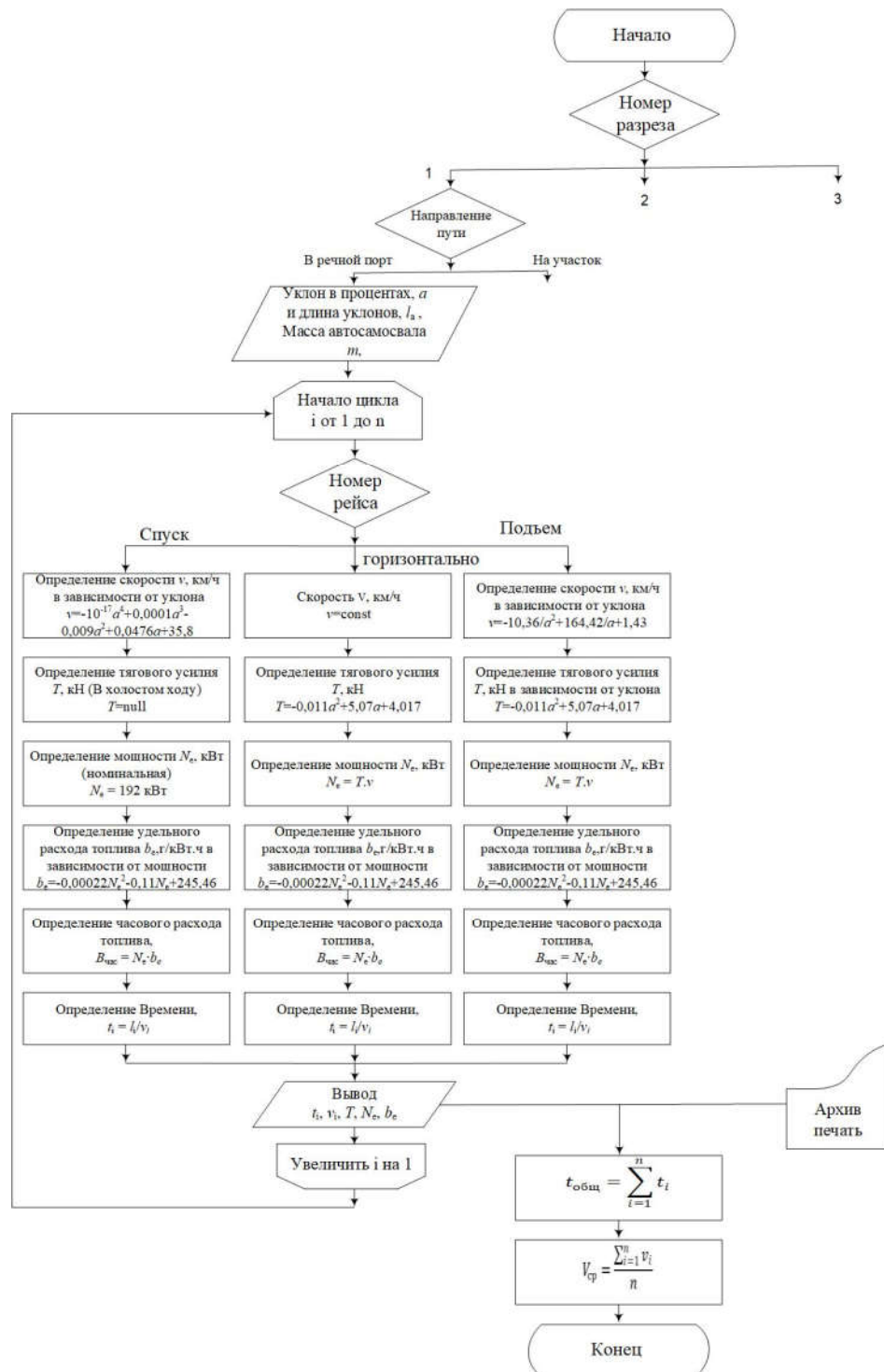


Рисунок 2.12 – Блок-схема алгоритма определения удельного расхода топлива и времени на маршрутах для перевозки угля

На первом этапе блок-схемы алгоритма проверяется номер действующего участка и далее направление маршрута (в речной порт и на участок). Затем вводятся длина и величина уклона в процентах, масса автосамосвала. По этим величинам цикл по горизонтальному, на спусках и на подъемах начинается. В цикле определяются зависимости скорости движения от уклона, тягового усилия от уклона, удельного расхода от текущей мощности (в том числе определяются мощность и часовой расход топлива и время на маршруте). Процессе цикла заканчивается и выводятся результаты параметров определений. После окончания цикла, общее время в пути и средняя скорость движения определяются.

После определения скорости автомобиля на уклонах, с учетом их протяженности, можно вычислить время движения.

$$v = \frac{l_a}{t_{\text{путь}}} \quad (2.107)$$

$$t_{\text{путь}} = \frac{l_a}{v} \quad (2.108)$$

где: $t_{\text{путь}}$ – время в пути, с;

l_a – протяженность уклонов, м;

v – скорость, м/с.

$$t_{\text{путь1 в речной порт}} = 1651,95 \text{ с} = 27,53 \text{ мин}$$

$$t_{\text{путь1 на участок}} = 802,21 \text{ с} = 13,37 \text{ мин}$$

$$t_{o1} = t_{\text{путь1 в речной порт}} + t_{\text{путь1 на участок}} = 27,53 + 13,37 = \mathbf{40,9 \text{ мин}}$$

$$t_{\text{путь2 в речной порт}} = 1967,71 \text{ с} = 32,8 \text{ мин}$$

$$t_{\text{путь2 на участок}} = 987,68 \text{ с} = 16,46 \text{ мин}$$

$$t_{o2} = t_{\text{путь2 в речной порт}} + t_{\text{путь2 на участок}} = 32,8 + 16,46 = \mathbf{49,26 \text{ мин}}$$

$$t_{\text{путь3 в речной порт}} = 2380,39 \text{ с} = 39,67 \text{ мин}$$

$$t_{\text{путь3 на участок}} = 1185,66 \text{ с} = 19,76 \text{ мин}$$

$$t_{o2} = t_{\text{путь3 в речной порт}} + t_{\text{путь3 на участок}} = 34,47 + 19,4 = \mathbf{59,43 \text{ мин}}$$

Для вычисления процесс карьерного автомобильного транспорта необходимо учитывать время погрузки. Время погрузки экскаватором в автосамосвал определяется по формуле:

$$t_{\Pi} = t_{\Pi} \times n_{\kappa} \quad (2.109)$$

где t_{Π} – время цикла экскаватора = 30 с;

n_{κ} – число ковшей, загружаемых в кузов.

Число ковшей, загружаемых в кузов по грузоподъемности автосамосвала вычисляют по формуле:

$$n_{\kappa} = \frac{\Gamma \times K_{\text{разр}}}{V_{\kappa} \times \rho \times K_{\text{нк}}} \quad (2.110)$$

где: Γ – грузоподъемность автосамосвала = 34 тонны;

$K_{\text{разр}}$ – коэффициент разрыхления; для угля 1,3; для породы 1,1;

$K_{\text{нк}}$ – коэффициент наполнения ковша экскаватора = 0,8;

V_{κ} – объем ковша экскаватора = 2,5 м³;

ρ – плотность угля = 1,5 т/м³.

$$n_{\kappa} = \frac{34 \times 1,3}{2,5 \times 1,5 \times 0,8} = 14,7 \quad (2.111)$$

Фактическое время погрузки составит:

$$t_{\Pi} = 30 \times 13 = 390 \text{ с} = 7,4 \text{ мин}$$

Рассчитывается время одного рейса транспортирования угля автосамосвалами по формуле:

$$t_{\text{об}} = t_o + t_{\Pi} + t_p + t_{\text{ожп}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{ур}} \quad (2.112)$$

где t_o — времени движения автосамосвала (движение с грузом и порожняком), мин на один рейс;

t_n — время погрузки, 7,4 мин;

t_p — норматив времени разгрузки, 0,8 мин;

- $t_{ожп}$ — норматив времени ожидание погрузки, 1 мин;
- $t_{уп}$ — норматив времени установка под погрузку, 0,7 мин;
- $t_{ур}$ — норматив времени установка под разгрузку, 0,6 мин;

Время одного рейса транспортирования угля автосамосвалом для каждого участка составит:

$$t_{об \text{ первого пути}} = 40,9 + 7,4 + 0,8 + 1 + 0,7 + 0,6 = 51,4 \text{ мин}$$

$$t_{об \text{ второго пути}} = 49,26 + 7,4 + 0,8 + 1 + 0,7 + 0,6 = 59,76 \text{ мин}$$

$$t_{об \text{ третьего пути}} = 59,43 + 7,4 + 0,8 + 1 + 0,7 + 0,6 = 69,93 \text{ мин}$$

Нормативное число автосамосвалов, загружаемых экскаватором за смену вычисляется по формуле [92]:

$$N_a = \frac{T_{см} - T_{пз} - T_{лн} - T_{пр}}{t_{п} + t_{уп} + t_{ожа}} \quad (2.113)$$

- где: $T_{см}$ — продолжительность смены, 480 мин;
- $T_{пз}$ — время перерывов в работе машины, вызванных подготовительно-заключительной работой, 30 мин и время перерывов в работе машины, вызванных обслуживанием рабочего места, 10 мин;
- $T_{пр}$ — норматив времени на регламентированные перерывы в соответствии с организацией технологического процесса в смену, 10 мин;
- $T_{лн}$ — время перерывов в работе машины, вызванных личными надобностями водителя, 10 мин;
- $T_{пр}$ — время перерывов в работе автосамосвала, вызванных технологией и организацией производства работ, 0,4 мин;
- $t_{п}$ — время погрузки, 7,4 мин;
- $t_{уп}$ — время на установку автосамосвала под загрузку, 0,7 мин;
- $t_{ожа}$ — время ожидания автосамосвала у экскаватора, 1 мин;

Выработки (число рейсов) на транспортирование угля первого участка одним автосамосвалом (м³) составит:

$$N_a = \frac{480 - 40 - 10 - 0,4}{7,4 + 0,7 + 1} \quad (2.114)$$

$$N_a = 47,2$$

Выработки (число рейсов) на транспортирование угля первого участка одним автосамосвалом (м³) рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{T_{см} - (T_{пз} + T_{об} + T_{пт} + T_{лн})}{t_{об}} \cdot V_a \quad (2.115)$$

- где $T_{см}$ — продолжительность смены, 480 мин;
- $T_{пз}$ — время перерывов в работе машины, вызванных подготовительно-заключительной работой, 30 мин;
- $T_{об}$ — время перерывов в работе машины, вызванных обслуживанием рабочего места, 10 мин;
- $T_{лн}$ — время перерывов в работе машины, вызванных личными надобностями водителя, 10 мин;
- $T_{пт}$ — время перерывов в работе автосамосвала, вызванных технологией и организацией производства работ, 0,4 мин;
- $t_{об}$ — норматив времени одного рейса автосамосвала, мин;
- V_a — объем горной массы в массиве в одном автосамосвале, 20 м³.

Выработка число рейсов на транспортирование угля *первого участка* одним автосамосвалом (м³) составит:

$$B = \frac{480 - (30 + 10 + 0,4 + 10)}{51,4} \cdot 20 \quad (2.116)$$

$$B = 167.16 \text{ м}^3$$

Так как объем автосамосвала 20 м^3 , рейсы на одной смене для одного автосамосвала составят: $167.16 / 20 = 8,36$ (8) рейсов.

Выработка число рейсов на транспортирование угля *второго участка* одним автосамосвалом (м^3) составит:

$$B = \frac{480 - (30 + 10 + 0,4 + 10)}{59,76} \cdot 20 \quad (2.117)$$

$$B = 143.78 \text{ м}^3$$

Так как объем автосамосвала 20 м^3 , рейсы в одной смене для одного автосамосвала составят: $143.78 / 20 = 7,19$ (7) рейсов.

Выработка число рейсов на транспортирование угля *третьего участка* одним автосамосвалом (м^3) составит:

$$B = \frac{480 - (30 + 10 + 0,4 + 10)}{69,93} \cdot 20 \quad (2.118)$$

$$B = 122,87 \text{ м}^3$$

Так как объем автосамосвала 20 м^3 , рейсов в одной смене для одного автосамосвала составят: $122,87 / 20 = 6,14$ (6) рейсов.

С учетом проведенных расчетов построен алгоритм работы автомобильного транспорта для перевозки угля (рисунок 2.13).

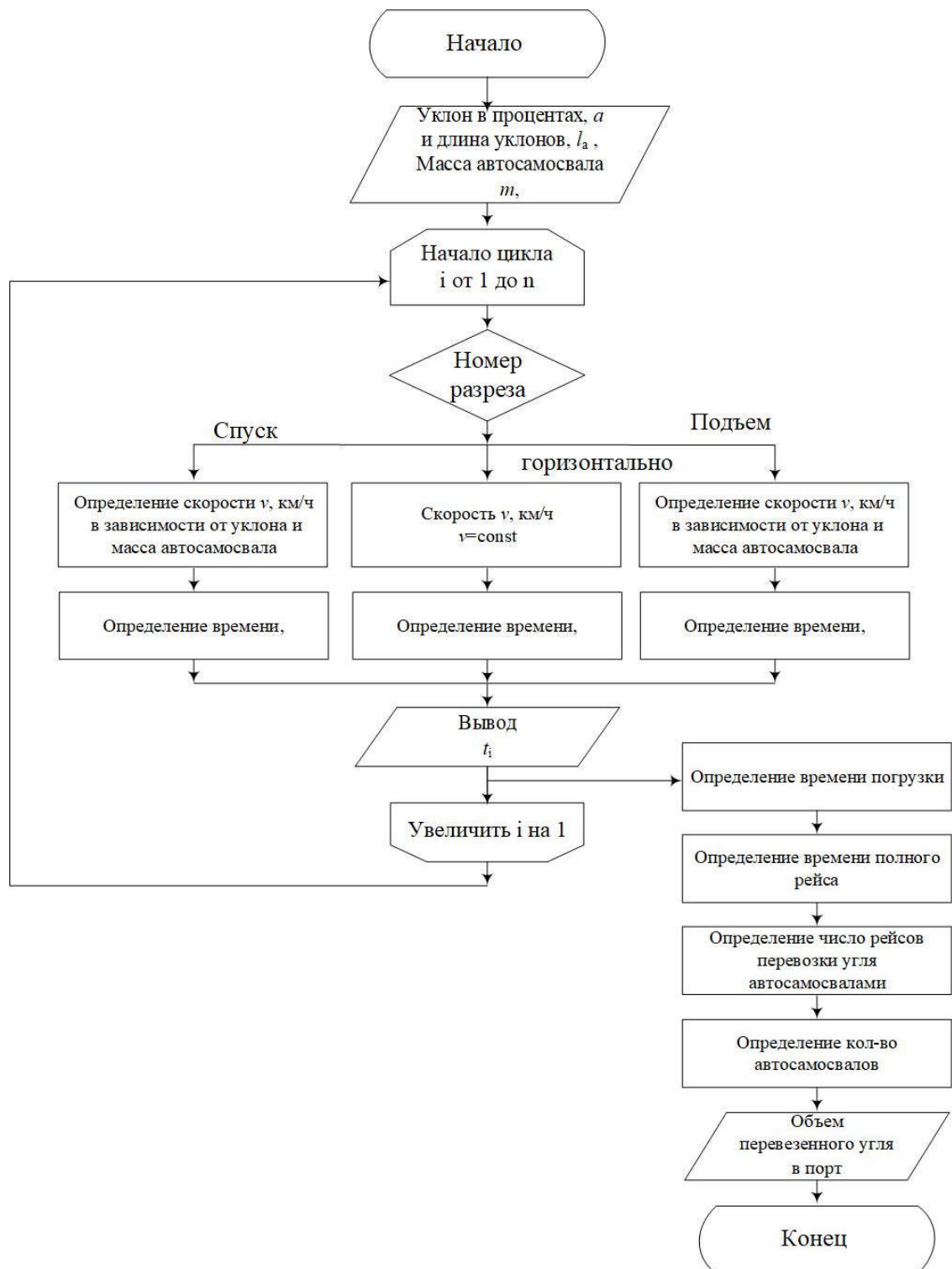


Рисунок 2.13 – Блок-схема алгоритма планирования заполнения пространственно разнесённых складов угля для обеспечения непрерывности технологического процесса конечного потребителя полезного ископаемого

На первом этапе блок-схемы алгоритма вводятся длина и величина уклона в процентах, масса автосамосвала. По этим величинам цикл по горизонтальному, на уклонах (спуск, подъем) начинается. В цикле определяются зависимость скорости движения от уклона и масса

автосамосвала, время на маршруте. Процессе цикла заканчивается и выводится время на маршруте. Далее определяются время погрузки автосамосвала экскаватором, время полного рейса, число рейсов перевозки угля автосамосвалами и количество автосамосвалов. Алгоритм заканчивается и выводится объем угля, перевезенного в порт.

На основе проведенных расчетов и алгоритмов построена циклограмма работы автомобильного транспорта для перевозки угля (рисунок 2.14), которая определяет необходимое количество автосамосвалов (для первого участка 6, для второго участка 7 и для третьего участка 8 автосамосвалов).

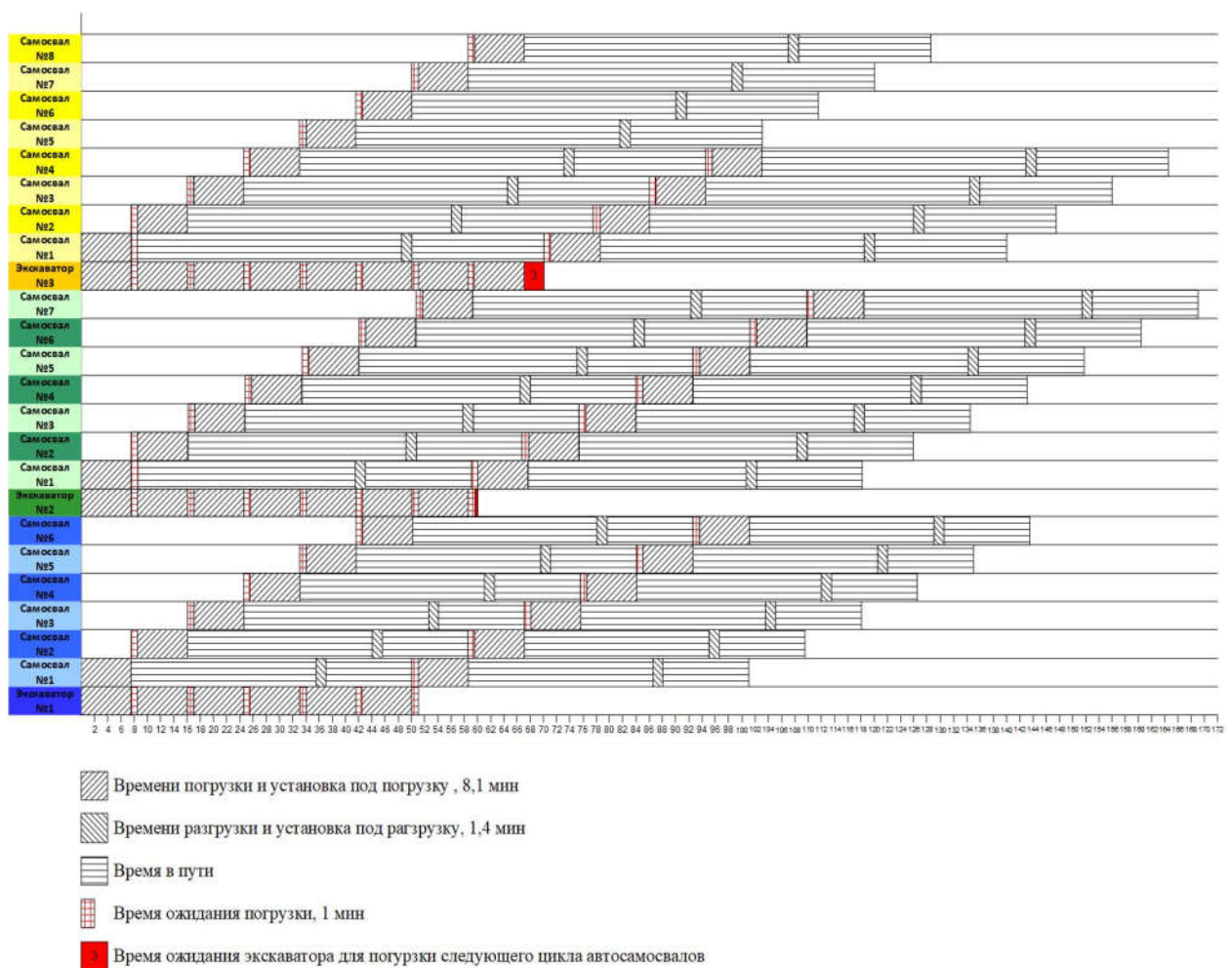


Рисунок 2.14 – График работы автомобильного транспорта для перевозки угля месторождения «Шве Таунг»

Необходимое количество автосамосвалов и число рейсов по одному автосамосвалу определяется в таблице 2.17:

Таблица – 2.17. Необходимое количество автосамосвалов и их число рейсов в день на участках

Разрез	Кол-во автосамосвалов	Число рейсов в день	Суммарные рейсы
1-й участок	6	16	96
2-й участок	7	14	98
3-й участок	8	12	96

Объем угля, перевезенного в порт в течение дня (две смены) рассчитывается:

$$V_{\text{пер.у}} = V_{\text{самосвала}} * n_{\text{г}} \quad (2.119)$$

где: $V_{\text{пер.у}}$ – объем перевезенного угля;

$V_{\text{самосвала}}$ – грузоподъемность автосамосвала;

$n_{\text{г}}$ – суммарные рейсы

Фактический объем угля перевезенного в порт в течение дня с первого участка составляет:

$$96 * 34 = 3264 \text{ т}$$

2-й участок:

$$98 * 34 = 3332 \text{ т}$$

3-й участок:

$$96 * 34 = 3264 \text{ т}$$

Объем угля, перевезенного в порт с трех участков в день:

$$3264 + 3332 + 3264 = 9860 \text{ т}$$

Соответственно уголь перевозят в месяц:

$$9860 * 30 = 295\,800 \text{ т}$$

$295\,800 * 8 = 2\,366\,400 \text{ т}$ перевозят в год (в сезон дождей четыре месяца исключаются из работы в связи с требованиями безопасности).

Цементный завод **Апачи** производил 3500 т цемента в день в 2016 г. К 2020 году планировалось увеличение производительности завода в два раза.

Для того чтобы произвести 1 т цемента, требуется 200 кг угля.

При условии выпуска 7200 т цемента в день потребуется $7200 \text{ т} * 200 \text{ кг/т} = 1\,440\,000 \text{ кг}$ угля в день требуется или $1\,440\,000 * 30 = 43\,200\,000 \text{ кг/месяц}$
 $= 518\,400\,000 \text{ кг/год} = 518\,400 \text{ т/год}$ [122].

2.4 Разработка выбора количества резервных автосамосвалов с учетом периодического технического обслуживания

Техническое обслуживание определяется следующие виды:

- TO-D Предпродажная подготовка (Выполняется авторизованной станцией Scania перед поставкой автомобиля клиенту)
- TO-R Обслуживание в период обкатки автомобиля (Выполняется авторизованной станцией Scania не позже 4 недель после поставки а/м клиенту или при пробеге 20 тыс. км (что наступит раньше))
- TO-S Малое техническое обслуживание (Наименьшее по объему работ периодическое обслуживание)
- TO-M Среднее техническое обслуживание (Более расширенное обслуживание по сравнению с TO-S)
- TO-L Большое техническое обслуживание (Включает в себя самый полный перечень работ)
- TO-X Дополнительное обслуживание (Включает в себя в основном дополнительную смазку узлов шасси)

Рекомендации по ТО при транспортировке угля вне дорог определяется следующим образом (таблица 2.18)

Таблица 2.18 Рекомендации по ТО при транспортировке угля вне дорог

Годовой пробег, тыс. км (не более)	Интервал ТО, недели	Посещение СТО, раз в год	Интервал ТО, тыс. км
60	16	3	4 месяца
70	14	4	20
80	12	4	20
90	11	5	20
100	10	5	20
110	9	6	20
120	8	6	20

При транспортировке грузов в легких условиях техническое обслуживание требуется каждые 45 000 км. А при транспортировке грузов в тяжелых условиях техническое обслуживание требуется каждые 30 000 км.

Поскольку дороги месторождения «Шве Таунг» грунтовые и находятся в горных сложных условиях, необходимо принимать техническое обслуживание по рекомендации при транспортировке грузов вне дорог (таблица 2.19-2.20). Техническое обслуживание требуется каждые 20 000 км. С учетом протяженности путей и количества рейсов автосамосвала в течение дня можно рассчитать график ТО. Набор букв означал последовательность различных видов ТО. Линейка ТО составляет «S-M-S-L».

Таблица 2.19 Техническое обслуживание по рекомендации при транспортировке грузов вне дорог

№	Перечень работ и материалов	Единиц измерения (Ед. изм)	Количество (Кол-во)
ТО-S (20 000 км)			
1	Замена топливного фильтр с влагоотделителем, 1 шт.	н/ч	0,2
2	ТО-S, барабанные тормоза	н/ч	0,2
3	ТО-S в соответствии с регламентом технического обслуживания Scania	н/ч	1,5
4	ТО-S в соответствии с регламентом технического обслуживания Scania	н/ч	0,6
5	Смазка опорно-сцепного устройства	н/ч	0,2
			2,7
ТО-M (40 000 км)			
1	Удаление воздуха из привода сцепления. Включая замену гидравлической жидкости.	н/ч	0,3
2	Замена топливного фильтр с влагоотделителем, 1 шт.	н/ч	0,2
3	ТО-M, барабанные тормоза.	н/ч	0,2

№	Перечень работ и материалов	Единиц измерения (Ед. изм)	Количество (Кол-во)
4	ТО-М в соответствии с регламентом технического обслуживания Scania.	н/ч	2,2
5	ТО-М в соответствии с регламентом технического обслуживания Scania.	н/ч	1
6	Смазка опорно-сцепного устройства.	н/ч	0,2
			4,1
ТО-S (60 000 км)			
1	Замена топливного фильтр с влагоотделителем, 1 шт.	н/ч	0,2
2	ТО-S, барабанные тормоза	н/ч	0,2
3	ТО-S в соответствии с регламентом технического обслуживания Scania	н/ч	1,5
4	ТО-S в соответствии с регламентом технического обслуживания Scania	н/ч	0,6
5	Смазка опорно-сцепного устройства	н/ч	0,2
			2,7
ТО-L (80 000 км)			
1	Замена фильтра, 1 шт., в системе SCR.	н/ч	0,1
2	ТО-L. Замена охлаждающей жидкости.	н/ч	0,6
3	Замена топливного фильтр с влагоотделителем, 1 шт.	н/ч	0,2
4	Замена воздушного фильтра двигателя.	н/ч	0,2
5	ТО-L, барабанные тормоза.	н/ч	0,2
6	ТО-L в соответствии с регламентом технического обслуживания Scania.	н/ч	4,3
7	ТО-L в соответствии с регламентом технического обслуживания Scania.	н/ч	1,4
8	Проверка тормозов на роликовом стенде.	н/ч	0,5
9	Смазка опорно-сцепного устройства.	н/ч	0,2
			7,7

Таблица 2.20 Техническое обслуживание по рекомендации при транспортировке грузов вне дорог на месторождении «Шве Таунг»

Протяженность, км	Рейсы	Пробег (две смены), км/день	Пробег, требующий ТО, км	График ТО, день	Линейка ТО
При транспортировке угля в легких условиях (1-й участок)					
7,6	18	136,8	20000	146,20	ТО-S - 2,7 ч
7,6	18	136,8	40000	292,40	ТО-M - 4,1 ч
7,6	18	136,8	60000	438,60	ТО-S - 2,7 ч
7,6	18	136,8	80000	584,80	ТО-L - 7,7 ч
При транспортировке угля в легких условиях (2-й участок)					
11,9	16	190,4	20000	105,04	ТО-S - 2,7 ч
11,9	16	190,4	40000	210,08	ТО-M - 4,1 ч
11,9	16	190,4	60000	315,13	ТО-S - 2,7 ч
11,9	16	190,4	80000	420,17	ТО-L - 7,7 ч
При транспортировке угля в легких условиях (3-й участок)					
14,4	12	172,8	20000	115,74	ТО-S - 2,7 ч
14,4	12	172,8	40000	231,48	ТО-M - 4,1 ч
14,4	12	172,8	60000	347,22	ТО-S - 2,7 ч
14,4	12	172,8	80000	462,96	ТО-L - 7,7 ч

Выводы по главе

В данном разделе диссертационного исследования по методу Крамера и наименьших квадратов были получены зависимости между основными параметрами работы автосамосвалов с учетом уклонов автодорог и массы автосамосвала.

По этим зависимостям был составлен алгоритм работы карьерного транспорта, который лег в основу научного положения.

По данным зависимостям для рассматриваемого месторождения были проведены расчёты по определению мощностных и кинематических

характеристик работы автосамосвалов для всех действующих участков с учетом их протяженности и уклонов, как для груженных, так и для порожних машин.

Для каждого участка было рассчитано время движения.

Полученные данные по времени были использованы для расчёта полного времени рейса с учетом операций по погрузке, разгрузке и времени ожидания.

Алгоритм учитывается количества одновременных участков. По каждому участку учитывается направления пути (в порт и на карьер). Далее оцениваются длина участков и его уклон, а также масса автосамосвала. Далее запускается цикл по определению времени полного рейса, удельного расхода топлива, часового расхода топлива, мощности двигателя, тягового усилия, скорости движения. Далее рассчитывается общее время работы количества рейсов и количества угля, перевезенного в порт.

В результате реализации алгоритма можно составить циклограмму горных работ по добыче и транспортировке. Часть циклограммы приведена на слайде. Цветами синий, зеленый и желтый обозначенный действующий сегодня участки. Как видно иногда бывают случаи простоев, также алгоритм не показывает возможные аварийные ситуации.

По циклограмме также можно определить загрузку угольного порта за одну смену. Здесь видно в общем линейной нарастание за исключение начало и конца горных работ.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Определение зависимости расхода топлива от профиля, технологических факторов

По результатам статистических данных по транспортированию угля с месторождения в порт были сформированы таблицы для определения зависимости расхода топлива от влияющих параметров. Существующие зависимости не позволяют учесть специфические условия ведения горных работ в Республике Союз Мьянма.

Для исследования влияния различных факторов на параметры транспортирования горной массы были проведены натурные исследования на угольных разрезах и порту. В условия однозначности входят:

- геометрические свойства системы: длины участков автодороги и уклоны.
- горнотехнические условия: масса перевозимого угля, скорость движения автосамосвалов, скорость погрузки и разгрузки (время); мощность двигателя, тяговое усилие.

По материалам экспериментальных измерений и вычислений (в количестве 105 по каждому параметру) для трех участков разреза, был проведен регрессионный анализ. В регрессионном анализе рассматривалось 7 переменных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Рассматриваемые параметры

№	Обозначение	Параметры
1	b_e	расход топлива (b_e , г/кВт·ч)
2	a	уклон дороги (a %)
3	v	скорость движения автосамосвала (v , км/ч)
4	T	тяговое усилие (T , кН)
5	m	масса машины с грузом (m , т)
6	r	обороты в минуту (r , об/мин)
7	N_e	Мощность двигателя (N_e , кВт)

На рассматриваемом объекте оцениваемые параметры изменялись в следующих пределах: мощность двигателя автосамосвалов $N_e = 190...328$ кВт; расход топлива $b_e = 180...217$ г/кВт·ч; уклон дороги $a = 0...50$ %; скорость движения автосамосвала $v = 4...50$ км/ч; тяговое усилие $T = 10...270$ кН; масса машины с грузом $m = 16/50$ т; обороты в минуту $r = 800...1900$ об/мин. Полученные зависимости рассматриваемых параметров (таблица 3.2-3.3).

Таблица 3.2 – Исходные данные для статистического анализа (с грузом)

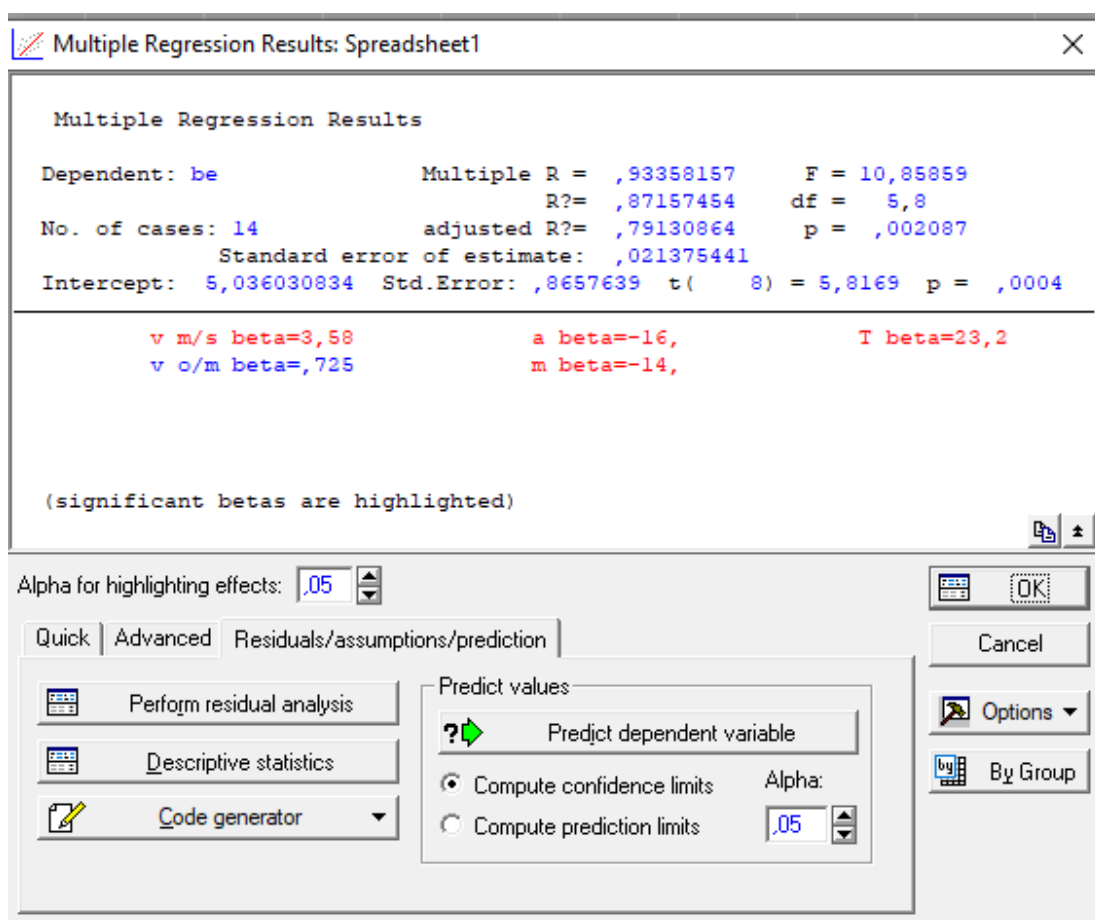
Номер измерения	уклон дороги (a %)	Скорость движения автомобиля (v , км/ч)	тяговое усилие (T , кН)	масса машины с грузом (m , т)	Значение оборотов в минуту (r , об/мин)	мощность (N_e , кВт)	удельный расход топлива (b_e , г/кВт·ч)
	Var3	Var2	Var4	Var7	Var6	Var5	Var1
1.	5	34	28	50	1000	242	-
2.	10	17	55	50	1050	-	202,5
3.	15	13	78	50	1200	291	194,5
4.	20	10	100	50	1300	316	-
5.	25	8	124	50	1400	318	185,8
6.	30	7	145	50	1600	320	181
7.	35	6	169	50	1800	323	186,3
8.	40	6	188	50	1900	324	-
9.	45	5	208	50	1925	-	195
10.	50	4	230	50	-	-	-
11.	-	2,5	270	-	-	-	-
12.	-	10	100	-	-	-	-
13.	-	20	46	-	-	-	-
14.	-	40	23	-	-	-	-
15.	-	60	15	-	-	-	-
16.	-	80	8	-	-	-	-

Таблица 3.3 – Исходные данные для статистического анализа (без груза)

Номер измерения	уклон дороги (a %)	Скорость движения автомобиля (v , км/ч)	тяговое усилие (T , кН)	масса машины с грузом (m , т)	значение оборотов в минуту (n , об/мин)	мощность (N_e , кВт)	удельный расход топлива (b_e , г/кВт·ч)
	Var3	Var2	Var4	Var7	Var6	Var5	Var1
17.	5	55	10	16	1000	242	-
18.	10	55	18	16	1050	-	202,5
19.	15	38	25	16	1200	291	194,5
20.	20	30	32	16	1300	316	-
21.	25	23	40	16	1400	318	185,8
22.	30	20	46	16	1600	320	181
23.	35	17	54	16	1800	323	186,3
24.	40	16	60	16	1900	324	-
25.	45	14	66	16	1925	-	195
26.	50	13	73	16	-	-	-
27.	-	2,5	270	-	-	-	-
28.	-	10	100	-	-	-	-
29.	-	20	46	-	-	-	-
30.	-	40	23	-	-	-	-
31.	-	60	15	-	-	-	-
32.	-	80	8	-	-	-	-

Полученная выборка экспериментальных данных обрабатывалась на ЭВМ с помощью программ обработки статистических данных «Statgraphics Plus 5.0» и «Statistica 8.0» [23,30,41,69].

Результат регрессионного анализа значений в натуральных лагори́фа́х приведен на рисунке 3.1.



Regression Summary for Dependent Variable: be (Spreadsheet1)						
R= ,93358157 R²= ,87157454 Adjusted R²= ,79130864						
F(5,8)=10,859 p<,00209 Std.Error of estimate: ,02138						
N=14	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(8)	p-level
Intercept			5,03603	0,865764	5,81686	0,000397
v m/s	3,5785	1,251783	0,22852	0,079939	2,85869	0,021194
a	-15,5296	4,730668	-1,10441	0,336428	-3,28275	0,011142
T	23,2362	7,330797	1,31849	0,415971	3,16967	0,013201
r o/m	0,7253	0,451804	0,16500	0,102781	1,60533	0,147089
m	-13,8520	4,525416	-1,09628	0,358154	-3,06092	0,015561

Рисунок 3.1 – Результат регрессионного анализа

На основании проведенного анализа и обработки статистических данных с помощью программ Statistica 8.0 была получена зависимость для описания процесса расхода топлива в зависимости от уклона и длины автодороги, мощности двигателя и тяги, а также массы автосамосвала. Таким образом в результате проведенного регрессионного анализа получено следующее уравнение взаимосвязи между фактическим общим расходом

топлива (b_e) от скорости движения автосамосвала (v , км/ч), уклона дороги (a , %), тягового усилия (T , кН), оборотов двигателя (r , об/мин) и массы машины (m , кг).

При поиске лучшей регрессионной модели следует руководствоваться следующими наиболее общими требованиями (Дрейпер, Смит, 1981):

1. Регрессионная модель должна объяснять не менее 80% вариации зависимой переменной, т.е. $R^2 \geq 0.8$.
2. Стандартная ошибка оценки зависимой переменной по уравнению должна составлять не более 5% среднего значения зависимой переменной;
3. Коэффициенты уравнения регрессии и его свободный член должны быть значимы на 5%-ом уровне.
4. Остатки от регрессии должны быть без заметной автокорреляции ($r < 0,30$), нормально распределены и без систематической составляющей.

Чем меньше сумма квадратов остатков, чем меньше стандартная ошибка оценки и чем больше R^2 , тем лучше уравнение регрессии.

Все коэффициенты уравнения значимы на 5% уровне ($p\text{-level} < 0,002$). Это уравнение объясняет 80% ($R^2 = 0,8$) вариации зависимой переменной. Ограничения модели: $2,5 \leq v \leq 80$ км/ч; $5 \leq a \leq 50$ %, $8 \leq T \leq 270$, кН, $1000 \leq r \leq 1925$, об/мин, $16 \leq m \leq 50$ т.

Расход топлива является искомой переменной, искомое регрессионное уравнение нелинейного вида фактического расхода топлива

$$b_e = f(a, v, T, r, m). \quad (3.1)$$

Максимальная погрешность аппроксимации опытных значений величин на всем исследуемом диапазоне для зависимости (3.1) составила не более 8,0.

Здесь в качестве математической модели выбираем линию регрессии переменной линейную по параметрам

$$\ln(b_e) = 5 + 0,229 \ln(v) - 1,104 \ln(a) + 1,319 \ln(T) + 0,165 \ln(r) - 1,096 \ln(m)$$

Или

$$b_e = (146 v^{0,229} T^{1,319} r^{0,165}) / (a^{1,104} m^{1,096}) \quad (3.2)$$

3.2 Регрессионный анализ полученного уравнения

Результаты регрессионного анализа полученной зависимости и корреляции рассматриваемых параметров приведены на рисунках 3.2-3.6.

Variable	Correlations (Spreadsheet1)					
	v m/s	a	T	v o/m	m	be
v m/s	1,000000	-0,685928	-0,986985	-0,672047	-0,705497	0,581928
a	-0,685928	1,000000	0,708562	0,939289	-0,000000	-0,838613
T	-0,986985	0,708562	1,000000	0,666307	0,705124	-0,583429
v o/m	-0,672047	0,939289	0,666307	1,000000	-0,000000	-0,783933
m	-0,705497	-0,000000	0,705124	-0,000000	1,000000	0,007862
be	0,581928	-0,838613	-0,583429	-0,783933	0,007862	1,000000

Рисунок 3.2 – Данные корреляции

Variable	Means and Standard Dev		
	Means	Std.Dev.	N
v m/s	2,933008	0,732708	14
a	2,827318	0,657951	14
T	3,900886	0,824614	14
v o/m	7,177432	0,205684	14
m	3,342306	0,591223	14
be	5,247206	0,046791	14

Рисунок 3.3 – Means and Standard Deviations (Spreadsheet1)

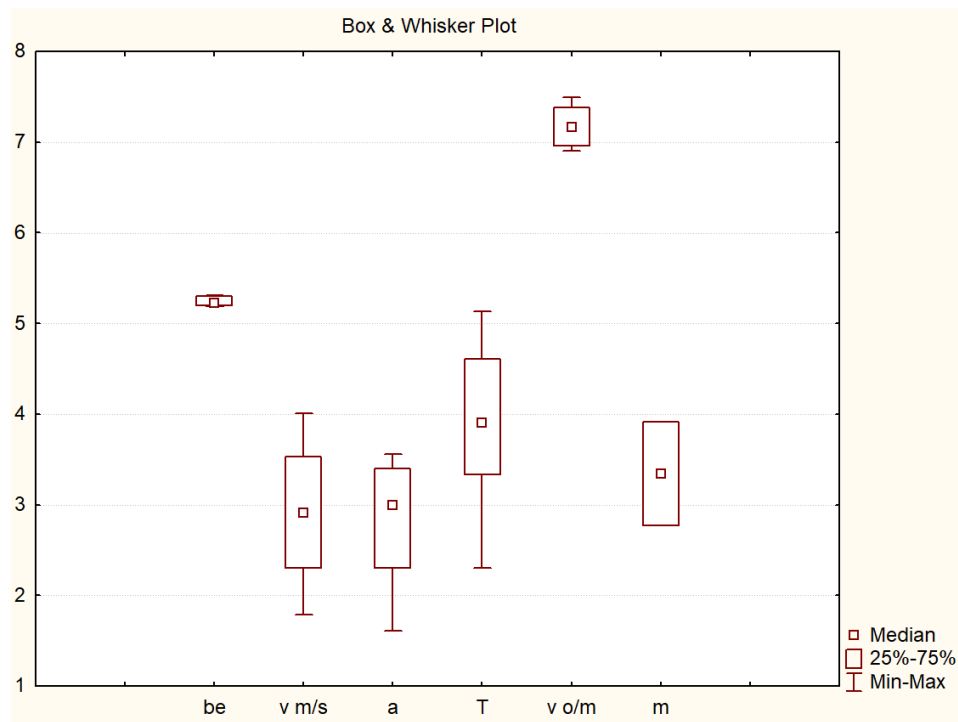


Рисунок 3.4 – Means and Standard Deviations (Spreadsheet1)

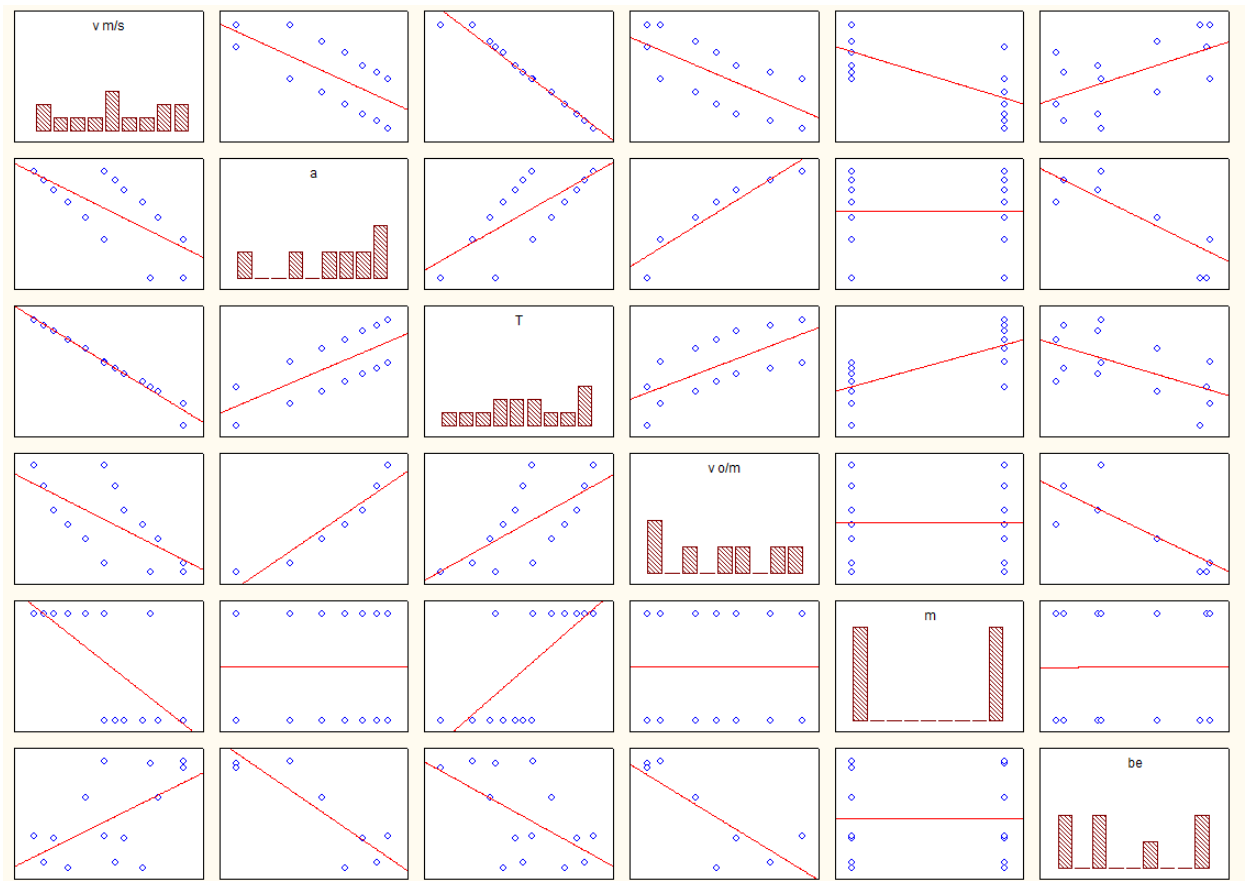


Рисунок 3.5 – Корреляции (Spreadsheet1 6v*14c)

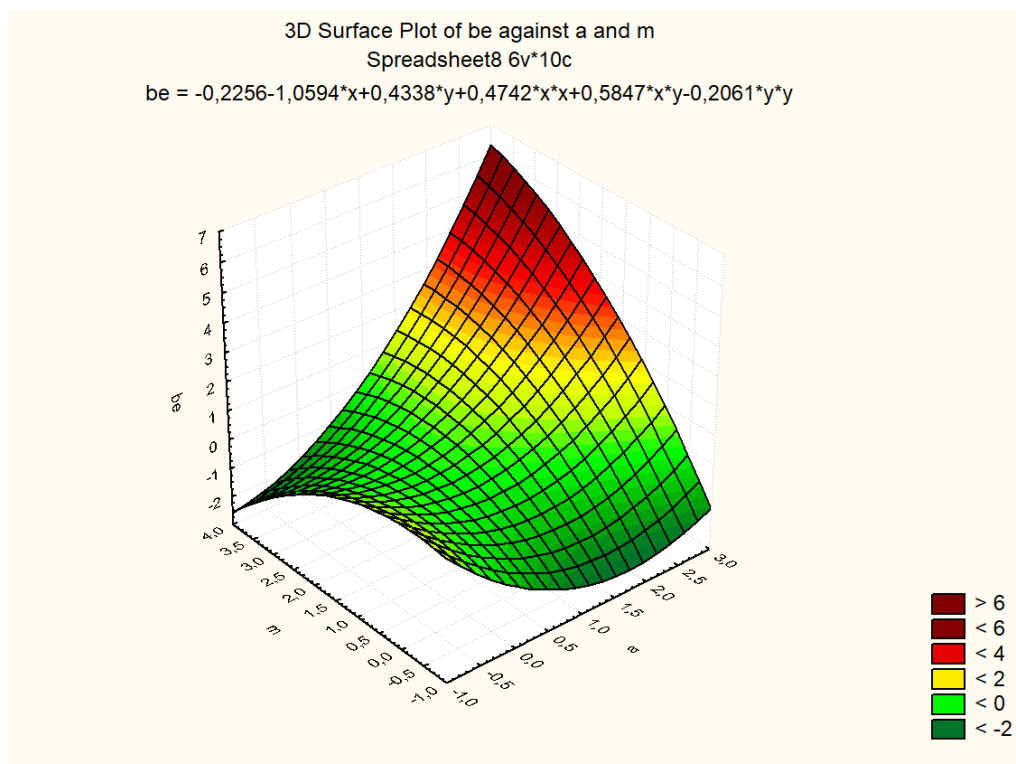


Рисунок 3.6 – График влияния уклона и массы автомобиля на удельный расход топлива

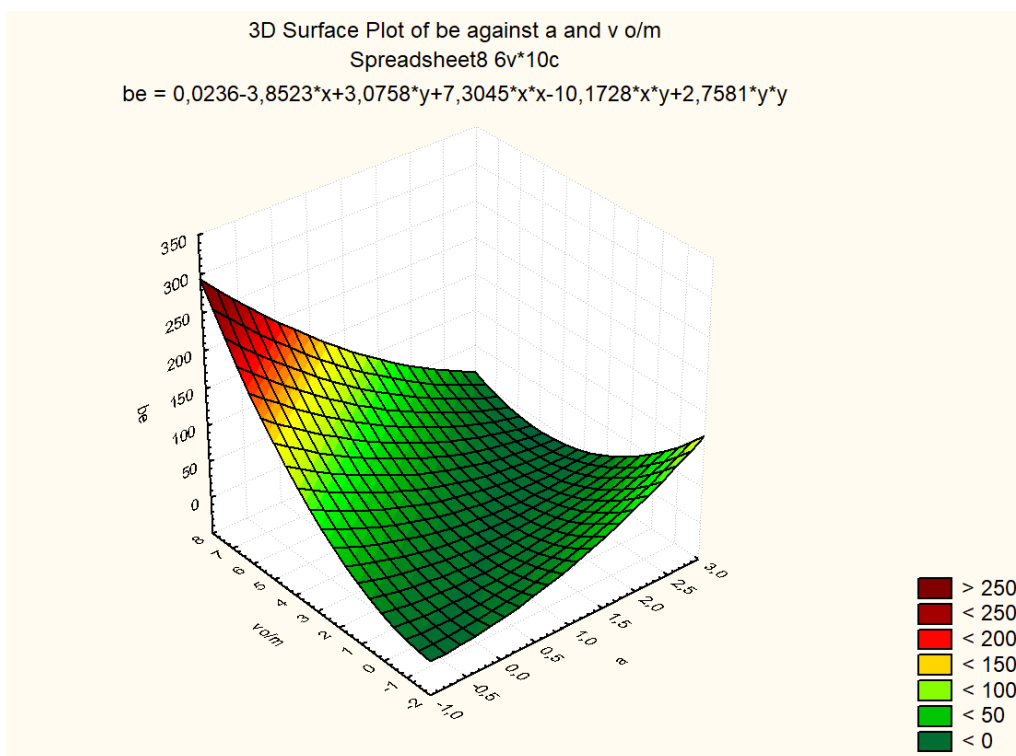


Рисунок 3.7 – График влияния уклона и оборотов двигателя автосамосвала на удельный расход топлива

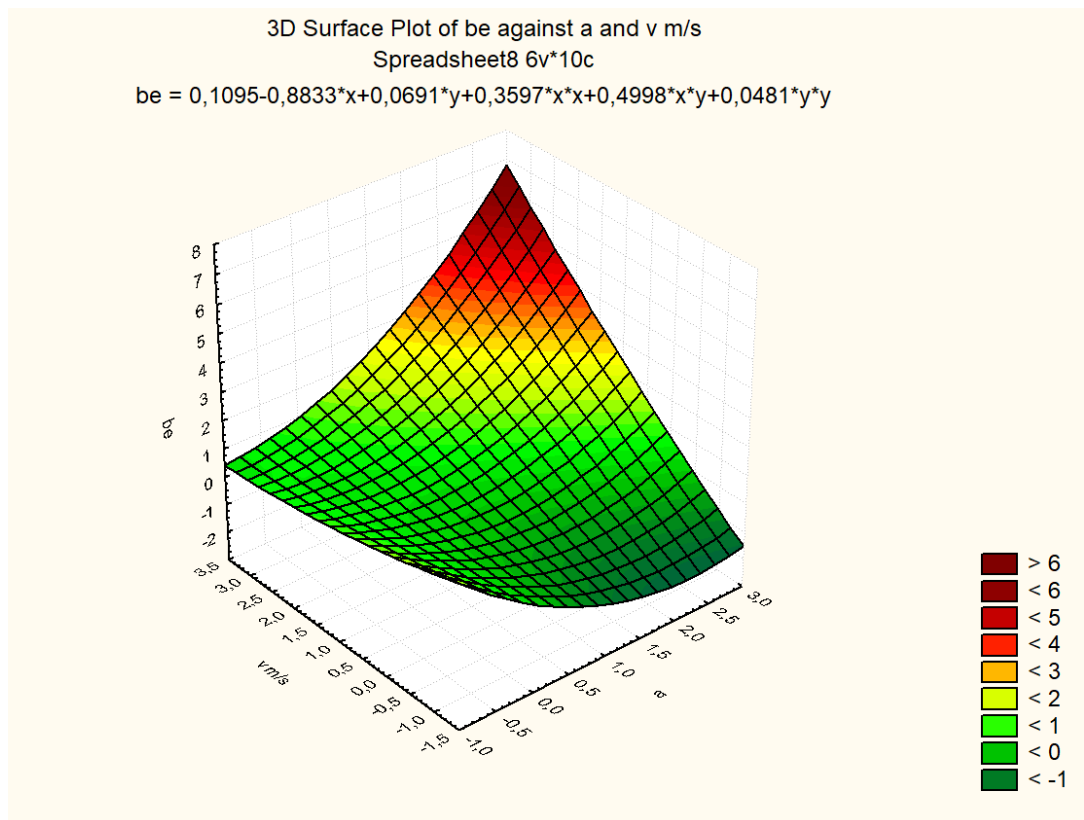


Рисунок 3.8 – График влияния уклона и скорости движения автосамосвала на удельный расход топлива

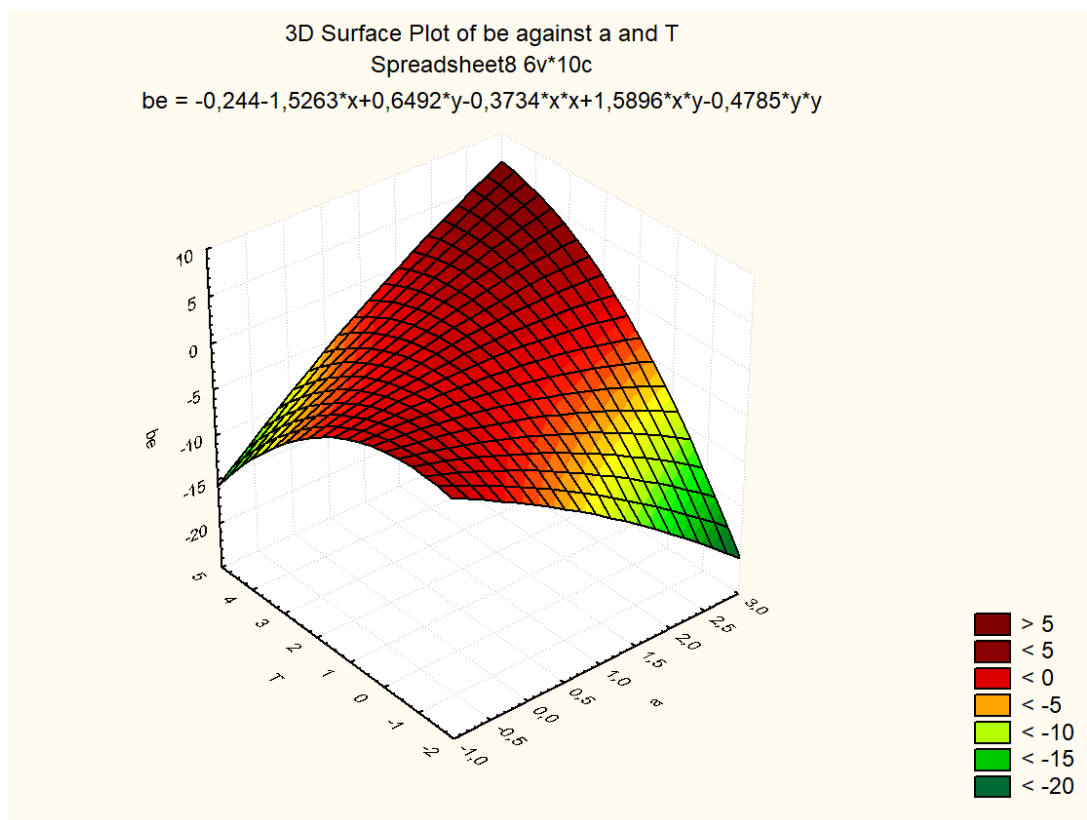


Рисунок 3.9 – График влияния уклона и тягового усилия автосамосвала на удельный расход топлива

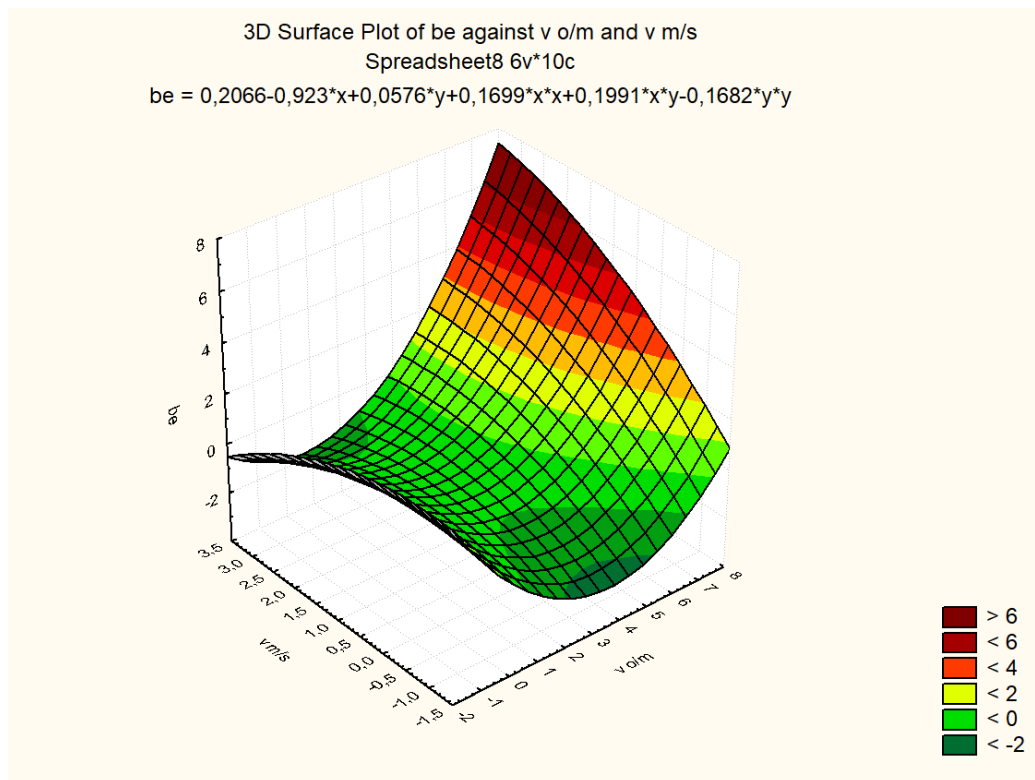


Рисунок 3.10 – График влияния оборотов двигателя и скорости движения автосамосвала на удельный расход топлива

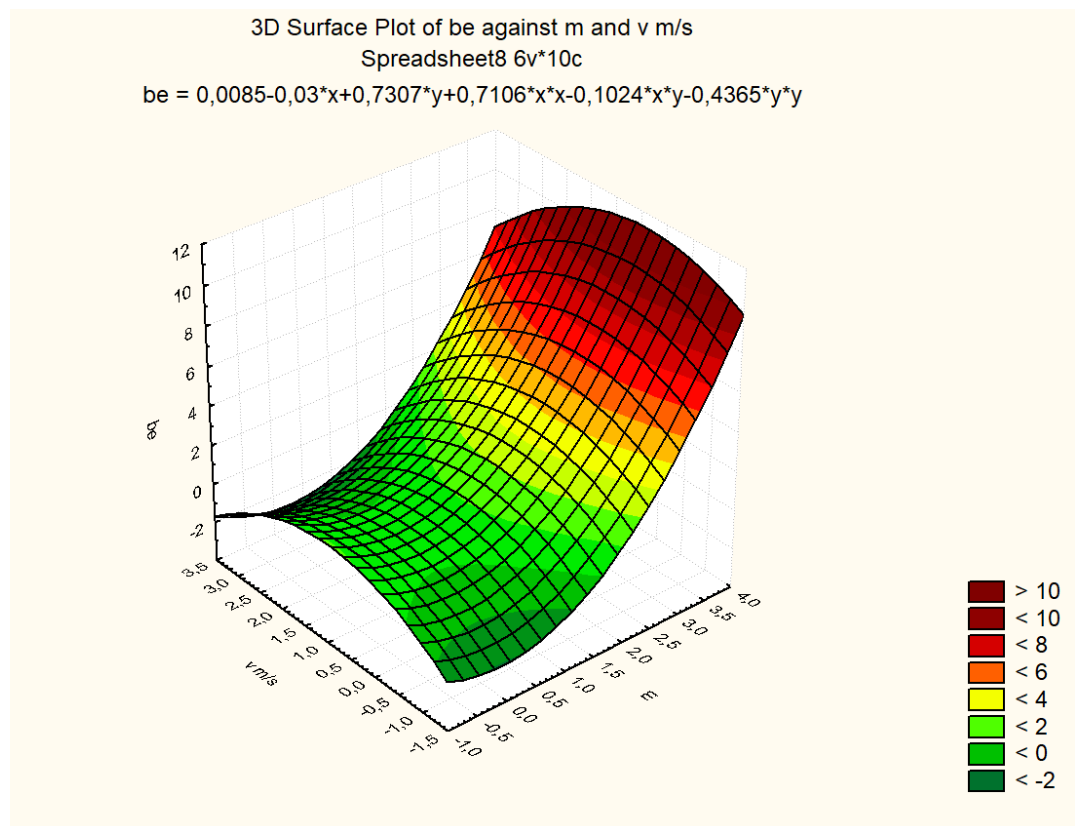


Рисунок 3.11 – График массы и скорости движения автосамосвала на удельный расход топлива

Выводы по главе

По полученным статистическим данным в программе Statistica 8.0 была получена зависимость между удельным расходом топлива и комплексное влияние разнородных факторов независимых переменных такими как уклон автодороги, скорость движения, тягового усилия, масса автосамосвала и обороты в минуту его двигателя. Зависимость получена для диапазона параметров.

По полученным данным можно сделать вывод о сложности полученной зависимости и общей взаимосвязи между влияющими параметрами. Трехмерные графики показывают сложную взаимосвязь зависимых и не зависимых переменных.

Данные исследования позволили формулировать удельный расход топлива автосамосвалов зависит от совокупного влияния разнородных факторов и определяется по полученной зависимости.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ КАРЬЕРНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ УГЛЯ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ МЕСТНОСТИ

Цель разработки методики планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности заключается в оптимизации времени движения автосамосвалов от места их загрузки (разрез) до места разгрузки (порта) и назад. При этом необходимо разработать алгоритм расчёта оптимальной скорости движения машин. На разных участках дороги должна быть разная скорость с учетом массы автомобиля и уклона дороги при соблюдении норм безопасности. Данная информация должна передаваться водителю. При соблюдении водителем скоростного режима ожидается бесперебойная работа экскаватора, а также бесперебойная разгрузка автосамосвалов в порту. При этом ставится задача равномерного заполнения склада с учетом работы порта и цементного завода. Разрабатываемая методика, как и все работы должны быть увязаны с климатическими особенностями Республики Союз Мьянма.

При планировании работы транспорта в первую очередь определяют требуемое количество транспортных средств на основании данных, полученных при проектировании горных работ, или исходя из величины необходимого количества угля на складе в порту и на цементном заводе.

4.1 Разработка основополагающих моментов для освоения методики

При движении автосамосвалов есть ограничение в Республике Союз Мьянма по скорости движения – 35 км/ч не зависимо от наклона дороги. Применяемые автосамосвалы могут разгоняться до 80 км/ч. Заводом изготовителем разрешается для порожних автосамосвалов ехать со скоростью не более 50 км/ч.

Автодороги в Республике Союз Мьянма, по которым осуществляется перевозка угля, чаще всего грунтовые и при развитии горных работ они

изменяются. В одних случаях они могут удлиняться, в других становятся короче, а также изменяется уклон.

Следующий фактор, который влияет на параметры транспортирования, является загрузка автосамосвалов. Максимальная грузоподъемность автосамосвалов 34 т. При этом в машины могут загружать меньшее количество угля.

Скорость движения автосамосвалов зависит от уклона автодороги. Минимальная скорость стремится к нулю (остановка машины). Для определения максимальной возможной скорости движения автосамосвалов был проведен сбор статистических данных и по ним далее был сделан регрессионный анализ (раздел 4.2).

Примерный порядок распределения поступающего угля на склады в порту представлен на рисунке 4.1. Количество привозимого угля в порт (например, за первый рабочий сезон $A_1 + A_2 + A_3$) имеет неравномерную зависимость. Объем угля, необходимого для производства цемента, одинаковое на всём протяжении года.

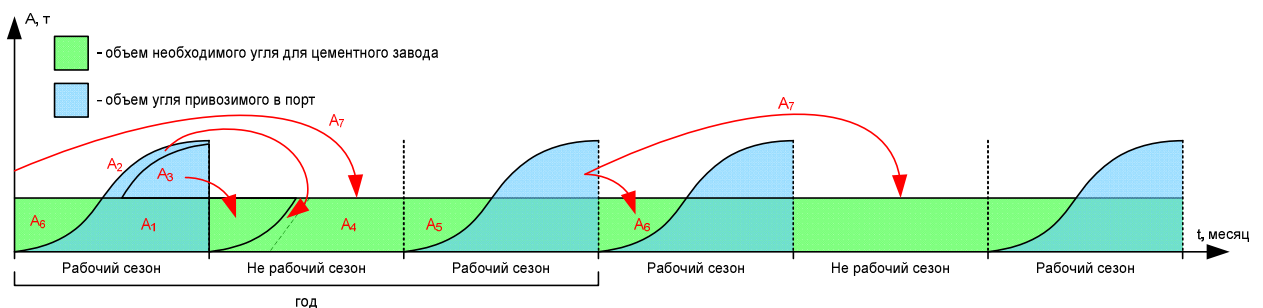


Рисунок 4.1 – Примерный порядок распределения поступающего угля на склады в порту

Для бесперебойной поставки угля на цементный завод необходимо, чтобы первоначально избыточные объемы угля ($A_2 + A_3 + A_7$) покрывали необходимое в будущем количество в не рабочий сезон.

4.2 Порядок планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности

Климатические изменения приводят к изменению рельефа местности и, соответственно, некоторых автомобильных (грунтовых дорог).

Следовательно, после окончания сезона дождей перед возвращением к ведению горнодобычных работ и транспортированию угля, на первом этапе необходимо провести маркшейдерскую съемку с целью определения длин и уклонов автодорог.

Используя сокращенное количество данных, учитывающих только влияние уклона автодороги и массы автосамосвала (рисунок 2.1), переведенные в табличный вид (таблица 4.1), в программе Statistica 8.0 была получена зависимость

$$\ln(v) = 6,483 - 0,328 \ln(a) - 0,832 \ln(m)$$

Или

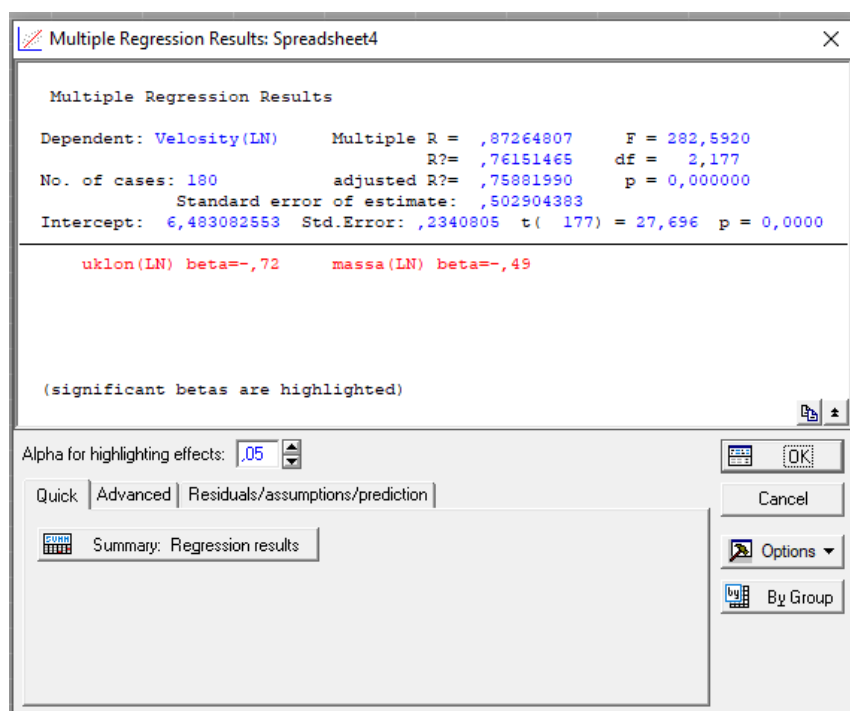
$$v = 653,93 / (a^{0,328} m^{0,832}) \quad (4.1)$$

Данные статистического анализа по достоверности полученной зависимости приведены на рисунке 4.2 а и б. Полученное уравнение можно применять при автоматизации процессов погрузки, разгрузки и транспортировки и алгоритмизации управления при планировании горных работ.

Таблица 4.1 – Данные по зависимости скорости движения автосамосвала от уклона и массы

Уклон, (%) Масса, т	0	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
10	80	80	80	70	56	46	38	32	28	24	22	20
15	80	80	78	54	40	30	24	20	18	16	15	14
20	80	78	70	42	30	23	18	16	14	13	12	11
25	80	78	62	34	24	18	15	13	12	10	10	9
30	80	70	54	28	19	15	13	11	10	9	8	7
35	80	64	46	24	17	14	11	10	8	8	7	6
40	80	62	41	21	15	12	10	9	8	7	6	6

Уклон, (%)	0	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Масса, т												
45	80	54	37	19	14	11	9	8	7	6	5	4
50	80	50	34	17	13	10	8	7	6	6	5	4
55	80	47	30	16	12	9	8	6	5	5	4	4
60	80	44	26	14	11	8	7	6	5	4	4	3
65	80	40	25	14	10	8	6	5	4	4	3	3
70	80	38	23	13	9	7	6	5	4	3	3	3
75	80	36	21	12	9	7	5	4	3	3	3	3
80	80	33	20	11	8	6	5	4	3	3	3	3



a)

Regression Summary for Dependent Variable: Velocity(LN) (Spread						
R= ,87264807 R²= ,76151465 Adjusted R²= ,75881990						
F(2,177)=282,59 p<0,0000 Std. Error of estimate: ,50290						
N=180	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t(177)	p-level
Intercept			6,483083	0,234080	27,6960	0,000000
uklon(LN)	-0,722329	0,036707	-0,328020	0,016669	-19,6784	0,000000
massa(LN)	-0,489649	0,036707	-0,831698	0,062348	-13,3395	0,000000

б)

Рисунок 4.2 – Результат регрессионного анализа

Для условий спуска по имеющимся данным (таблица 2.1) были построены графики зависимости и уравнения, их описывающие (рисунок 4.3).

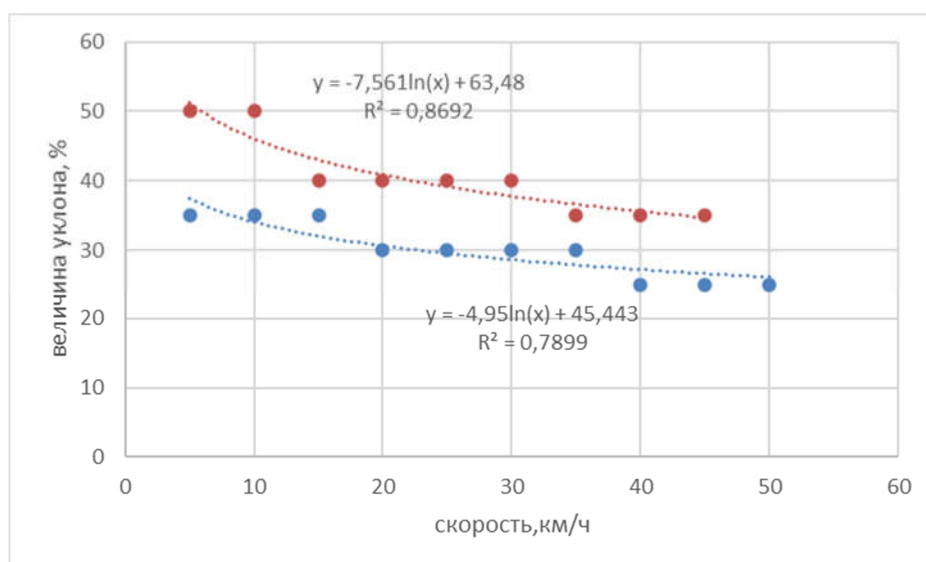


Рисунок 4.3 – Графики зависимости скорости автосамосвала от уклона автодороги (груженого – красные точки и порожнего – синие точки)

В результате проведенных исследований получены зависимости (таблица 4.2) для разработки алгоритма и методики.

Таблица 4.2 – Сводные данные по скорости движения автосамосвалов

Вид участка автодороги	Загрузка автосамосвала	Минимальная скорость	Зависимость для определения максимальной скорости
Уклон / Движение на спуск	Порожний	0 км/ч (остановка автосамосвала или исключение его из технологической цепочки)	$v = 653,93 / (a^{0,328} m^{0,832})$
	Груженный	0 км/ч (остановка автосамосвала или исключение его из технологической цепочки)	
Уклон / Движение на подъем	Порожний	0 км/ч (остановка автосамосвала или исключение его из технологической цепочки)	$v = 63,48 - 7,561 \cdot \ln(a)$
	Груженный	0 км/ч (остановка автосамосвала или исключение его из технологической цепочки)	$v = 45,443 - 4,95 \cdot \ln(a)$

Вид участка автодороги	Загрузка автосамосвала	Минимальная скорость	Зависимость для определения максимальной скорости
Движение по горизонтальному участку	Порожний / Груженный	0 км/ч (остановка автосамосвала или исключение его из технологической цепочки)	$v = 35 \text{ км/ч}$

4.3 Алгоритм работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности

Методика заключается в строгом выполнении следующих действий:

1. Сбор новых данных по уклонам и длинам (a , %; L , м) после завершения сезона дождей;
2. Оценка возможностей по количеству автосамосвалов (N , шт.) и по их максимальной загрузке (m , кг);
3. Оценка потребностей и возможностей по загрузке порта (A , т);
4. Составление графика работ, включающего в себя:
 - количество добычных участков;
 - количество машин на участке;
 - загрузка машин на каждом участке;
 - расчёт скорости движения машин.
5. Контроль местоположения машин и скорости их движения;
6. Оперативное (автоматизированное) управление транспортом и загрузкой машин.

Выполнения расчета по определению режимов работы автосамосвалов в виде алгоритма представлена на рисунке 4.4.

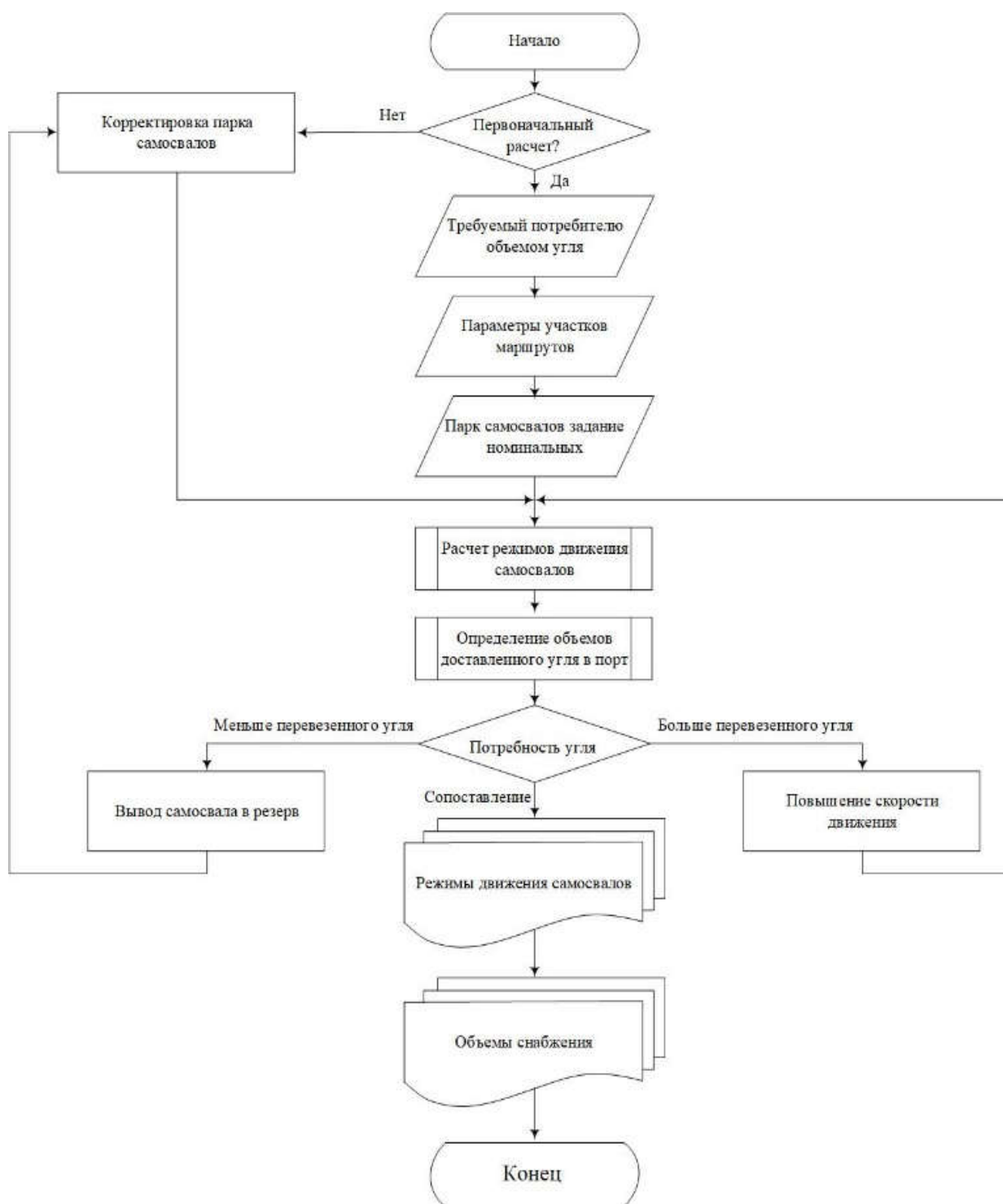


Рисунок 4.4 – Блок-схема алгоритма обработки экспериментальных данных для решения прикладных задач при построении автоматизированных систем управления режимами работы автосамосвалов

На первом этапе алгоритма проверяется расчет транспортировки горных работ, при необходимости переходит к корректировке парка автосамосвалов и далее к predetermined процессам (расчет режимов движения автосамосвалов и определение объемов доставленного угля в порт), то да вводятся требуемый объем угля потребителя, параметры участков маршрутов

и парк автосамосвалов задание номинальных режимов и далее к предопределённым процессам (рассчитываются режимы движения автосамосвалов и определяется объема доставленного угля в порт). Затем проверяется потребность угля, если потребность угля больше перевезенного угля, то необходимо повысить скорость движения и переходиться к предопределённым процессам, а если меньше лишние автосамосвалы выводятся в резерв и переходится к корректировке парка автосамосвалов. Когда потребность угля сопоставляет выводят результаты режимов движения автосамосвалов и объемов снабжения.

4.4 Основы реализации системы управления карьерным автомобильным транспортом для перевозки угля в сложных условиях местности и сезонной недоступности

Вопросы внедрения и использования информационных технологий в горной промышленности нашли применение на многих предприятиях, разрабатывающих месторождения полезных ископаемых открытым и подземным способами. Но вопросы эффективности эксплуатации систем автоматизированного управления на месторождениях, расположенных в труднодоступных районах вызывает широкое обсуждение у специалистов. Конечно, если месторождение крупное и содержит ценное сырье необходимость в автоматизированных системах управления технологическими процессами очевидна. Особенно остро разногласия возникают в основном в том случае, когда полезное ископаемое не относится к особо ценному сырью и месторождение обслуживает одного или двух потребителей. В этом случае необходимо определить способствует ли использование современной вычислительной техники и монтаж распределенной инфраструктуры оперативного сбора данных реальному повышению производительности труда и экономии затрат. Единое мнение существует главным образом по технике управления процессами для стационарных установок, которые применяются на большинстве горнодобывающих предприятий. Автоматизация работы и управление подвижным оборудованием на малобюджетных месторождениях были и

остаются той сферой, в которой многие вопросы остаются открытыми. По всей видимости создание автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления всем движимым и недвижимым технологическим оборудованием для месторождения «Шве Таунг» не приведёт к резкому увеличению производительности. Расходы на разработку такой автоматизированной системы не окупятся. Большой интерес представляют те элементы автоматизированной системы управления, которые не используют распределённые линии связи для сбора данных. То есть такие блоки, которые бы определяли программу работ технологического оборудования не менее, чем на сутки и не требовали бы развитой инфраструктуры информационной системы. Поэтому разработка некоторого блока, способного определять режимы движения автосамосвалов по маршрутам в зависимости от уклонов дорог и загрузки на сутки и более принесет очевидную выгоду горнодобывающему предприятию. Использование результатов расчетов режимов (таблицы скоростей на уклонах) движения автомобилей, позволит обеспечить такую эксплуатацию парка самосвалов, при которой расход горюче-смазочными материалами и запчастями был бы минимальный и при этом выдерживался график наполнения складов. Реализация такой задачи в виде Системы управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности, как элемента расчета производственной программ является перспективной. При этом, периодичной выполнения указанной задачи определяется в основном изменением количества исправных самосвалов.

4.4.1. Программные и информационные средства системы управления карьерным автомобильным транспортом для перевозки угля в сложных условиях местности и сезонной недоступности

Система управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности является составной частью интегрированной среды управления работой месторождения «Шве Таунг» и используется при разработке производственной программы, точнее производственной программы работы автотранспорта. Система управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности относится к системам оперативного, среднесрочного управления транспортом (рисунок 4.5), то есть MES системам (системам управления и организации производственной деятельности) При этом система управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности не производит постоянно расчёты. Она только постоянно собирает отчеты по объемам отгруженного на баржи и складированного угля на речных складах.

Расчеты по определению режимов движения самосвалов система управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности производит в начале сезона и периодически при поломке автосамосвала или его восстановления. Основное назначение системы управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности это определение номинальных или близким к номинальным режимам работы автосамосвалов на участках маршрутов транспортировки угля из участков открытых горных работ на речные склады.



Рисунок 4.5. Уровни систем управления работой организацией, осуществляющей добычу угля на месторождении «Шве Таунг»

Практическое применение системы управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности определяется следующим порядком. На первом этапе на основе определенных объемов угля, необходимых для функционирования с постоянной производительностью цементного завода «Апачи» в зависимости от числа действующих участков открытых горных работ карьера, разрабатывающего угольное месторождение «Шве Таунг», продолжительности периода безопасной работы и числа исправных автосамосвалов с учетом профилей автомобильных дорог определяются режимы движения машин на каждом участке, близкие к номинальным. На основе полученного результата проверяется условие перевозки требуемого годового объема угля для цементного завода «Апачи». На этом этапе возможны три варианта соотношений объемов угля, перевезённого автосамосвалами при работе в номинальном режиме и требуемого годового объема угля для цементного завода «Апачи».

Первый вариант, наиболее благоприятный, когда объем перевезенного автосамосвалами угля превышает годовую потребность цементного завода. В этом определяется резерв транспортного обеспечения за сезон. На основе этого транспортного резерва один или несколько самосвалов на определенный промежуток эксплуатации (весь сезон или его часть) выводятся из эксплуатации. В этом случае объем снабжения (горюче-смазочными материалами, запчастями, расходниками) наименьший. Далее, перевозка угля осуществляется оставшимся парком автосамосвалов с режимами близким к номинальным на каждом участке дорог. В случае поломки самосвала, выведенный из эксплуатации самосвал его заменяет. Поломанный самосвал переводится в ремонт. Если вышел из строя еще один самосвал и резервного самосвала нет, то происходит пересчет режимов движения самосвалов на участках дорог с повышенными скоростями, которые бы обеспечивали суммарный требуемый объем угля на речных складах. В этом случае режимы эксплуатации автосамосвалов не номинальные, но будут наиболее близкими к номинальным в сложившихся условиях. При этом объем снабжения (горюче-смазочными материалами, запчастями, расходниками) возрастет. После восстановления автосамосвала после ремонта производится новый расчет по определению режимов движения автомобилей, обеспечивающих требуемый объем перевозки угля на речные склады.

Второй вариант, менее благоприятный, когда объем перевезенного автосамосвалами угля сопоставим с годовой потребностью цементного завода. В этом случае перевозка угля осуществляется всем парком автосамосвалов с режимами близким к номинальным на каждом участке дорог. При этом варианте наиболее эффективно используется автомобильный парк. При этом объем снабжения (горюче-смазочными материалами, запчастями, расходниками) следует считать минимальным точнее оптимальным по эффективности использования самосвалов. В случае поломки самосвала, выполняется пересчет режимов движения самосвалов на участках дорог с повышенными скоростями, которые бы обеспечивали суммарный требуемый

объем угля на речных складах. В этом случае режимы эксплуатации автосамосвалов становятся не номинальными, но будут наиболее близкими к номинальным режимам движения в сложившихся условиях. При этом объем снабжения (горюче-смазочными материалами, запчастями, расходниками) возрастает. После восстановления автосамосвала после ремонта производится новый расчет по определению режимов движения автомобилей, обеспечивающих требуемый объем перевозки угля на речные склады.

Третий, наименее благоприятный вариант, когда объем перевезенного автосамосвалами угля меньше годовой потребностью цементного завода. Это возможно в двух случаях. Во-первых, производительность цементного завода «Апачи» возросла. В основном, перспективные планы модернизации производства строительных материалов на цементном заводе согласовывают с организацией, осуществляющей добычу угля на месторождении «Шве Таунг». Во-вторых, из-за выбытия из эксплуатации самосвалов в предыдущем сезоне. Обычно, организация, осуществляющая добычу угля на месторождении «Шве Таунг» планирует, в случае необходимости доставку автосамосвалов заранее. Но системы управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности имеется возможность определить близкими к номинальным режимам движения повышенные скорости автосамосвалов, обеспечивающие требуемое заполнение складов на реке Чиндуин. Очевидно, в этом случае объем снабжения (горюче-смазочными материалами, запчастями, расходниками) будет наибольшим. После восстановления автосамосвала после ремонта производится новый расчет по определению режимов движения автомобилей, обеспечивающих требуемый объем перевозки угля на речные склады.

Информация, необходимая для функционирования системы управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности подготавливается, собирается, хранится, обрабатывается в базах данных организации, осуществляющей

добычу угля на месторождении «Шве Таунг». Консоли для ввода первичных данных размещаются в местах сбора и обработки этой информации. Детальность представления информации локализуется на участках открытых работ и организации, осуществляющей добычу угля на месторождении «Шве Таунг». При необходимости результаты планирования режимов работ автосамосвалов представляется в необходимом виде на цементный завод «Апачи» и компаниям, осуществляющих снабжение горюче-смазочными материалами, запчастями, расходниками. Кроме этого, по результатам завершения сезона и планированию работы цементного завода «Апачи» на следующий год, определяется необходимость закупки автосамосвалов.

Взаимодействие между распределенными базами данных осуществляется с помощью использования глобальной сети интернет посредством радиосвязи. Разработано масштабирование баз данных, возможность определения прав доступа, ответственности за внесение изменений, архивации и т. д. Взаимодействие с базами данных выполняется через стандартный интерфейс с помощью языка запросов. Разработана система кодирования информации. Созданы необходимые справочники (рисунок 4.6)



Рисунок 4.6 – Схема интегрированной среды управления работой месторождения «Шве Таунг»

Выводы по главе

При сезонности работы порта и добычных работ на разрезе и при непрерывной работы цементного завода была поставлена задача разработки алгоритма и методика равномерной загрузки порта с учетом объема складов.

Задача решалась путем получения зависимостей по определению максимальной допустимой (возможной) скорости движения груженых и порожних автосамосвалов на различных участках автодорог. Участки разделялись по принципу движения вверх по уклону, вниз по уклону и движение по горизонтальным дорогам. Зависимости получались путём анализа статистических данных в программе Statistica 8.0.

Проведены уровни систем управления работой организацией, осуществляющей добычу угля и система кодирования информации интегрированной среды управления работой на месторождении «Шве Таунг».

На основе их разработана система управления картерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности месторождения «Шве Таунг». Создан алгоритм распределения объемов транспортировки угля между складами на реке Чиндуин и цементного завода с учетом сезонной транспортной недоступности, обеспечивающий бесперебойную работу потребителя угля в любых меняемых возможных обстановках расчета режимов движения автосамосвалов, определения требуемого объема угля потребителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации дано решение научной задачи управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности и ее имеющей, обусловленной необходимостью освоения удаленных сезонно транспортно недоступных территорий, обеспечивающих равномерность горных работ на основе управления и планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях, территориально автономных районов Республики Союз Мьянма. Создание на научной основе автоматизированных систем управления технологическими процессами погрузки и транспортировки угля и последовательная увязка с работой экскаваторов и речного транспорта, интеграция в единую систему сбора и обработки данных и оперативного управления параметрами движения автосамосвалов в условиях сезонной транспортной недоступности повышает надежность непрерывность технологического процесса и эффективность работы всех звеньев управления производством добычи и транспортировки угля. Результаты диссертационной работы используются при проектировании карьеров, на горнодобывающих предприятиях в Республике Союз Мьянма, расположенных в высокогорных районах, лишенных транспортной инфраструктуры.

В работе решены следующие научные задачи:

1. Получены зависимости удельного расхода топлива, мощности двигателя, тягового усилия и скорости движения машин с учетом уклона автодорог и массы автосамосвалов для сложных условий транспортировки горной массы с целью обеспечения оптимальных динамических параметров их работы на всех участках дорог.
2. Разработан алгоритм планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности позволяет обеспечить бесперебойную поставку угля на цементный завод с учётом сложных рельефа и климатических условиях.

3. Разработаны теоретические основы моделирования организационно-технологических систем управления работой карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности, сезонной транспортной недоступности и их алгоритмизация.
4. Предложено использование методов автоматизированного проектирования для повышения эффективности систем управления работой автотранспорта и надежности непрерывности технологического процесса.
5. Разработаны формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация элементов планирования и управления транспортными потоками для условий Республики Союз Мьянма, районов, расположенных в высокогорье и не имеющих транспортную инфраструктуру.
6. Разработаны теоретические методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении автоматизированных систем управления параметрами автосамосвалов с учетом их загрузки и уклона грунтовых дорог, проложенных с учетом предотвращения оползней и размывов транспортного полотна.
7. Расход топлива автосамосвалов зависит от совокупного влияния разнородных факторов как профиля (уклона автодорог и массы угля), так и от технологических параметров машин (скорости движения, тягового усилия и оборотов двигателя) и может быть определен по полученной зависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова Т.В., Ваганова Е.В., Горбачев С.В., Сырямкин В.И., Сырямкин М.В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации. – Томск: ТГУ, 2014. - 510 с.
2. Аброськин А.С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 12 С. 122–130.
3. Авершина Д.В. Оценка экономической эффективности внедрения автоматизированной системы «Интеллектуальный карьер» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S2. – С. 111–117.
4. Андреева Л.И., Ушаков Ю.Ю. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности / сборник трудов XV Международной научно-технической конференции // Исследование эксплуатационных параметров карьерного автотранспорта, сб. 2017. – С. 422–429.
5. Анистратов К.Ю. Разработка стратегии технического перевооружения карьеров // Горная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 90–104.
6. Бабков В.Ф. Дорожные условия и режимы движения автомобилей / В.Ф. Бабков, М.Б. Афанасьев, А.П. Васильев и др.. - М.: Транспорт, 1967. - 227 с.
7. Басманов С. В. Оптимизация параметров карьерных автосамосвалов для повышения их технического уровня: Дис. канд. техн. наук. - Кемерово, 2012 - 204 с.
8. Бахтурин Ю.А., к.т.н., Современные тенденции развития карьерного транспорта. Семинар № 16, 2009, с. 403–414.
9. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления: Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2006. – 184 с.

10. Бойко В.В., Савинков В.М. Проектирование баз данных информационных систем. 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 350 с.
11. Боярский Э.Ф., Рогозов В.В. Цифровое моделирование угольных пластов. – М.: Недра, 1992. - 127 с.
12. Бурмистров К.В., Цыганов А.В., Томилина Н.Г. Процессы открытых горных работ. Транспортирование горной массы. Карьерный автомобильный транспорт. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2018, 99 с.
13. Буялич Г.Д., Фурман А.С. Исследование транспортного процесса карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – № 5. – С. 40–42.
14. Васильев М.В. Современный карьерный транспорт. М., Недра, 1969, 304 с.
15. Васильев М.В., Яковенко Б.В., Яковлев В.Л. Опыт планирования работы карьерного транспорта с использованием математических методов и вычислительной техники. – М.: Недра, 1966, 27 с.
16. Великанов, Д.П. Эффективность автомобиля. – М.: Транспорт, 1999. – 240 с.
17. Власова Т.В., Аршинова М.А., Ковалева Т.А. Физическая география материков и океанов – М.: Просвещение, 1986. – С. 258–265.
18. Воронов, А. А. Основы теории автоматического управления. Часть 2 / А.А. Воронов. - М.: Энергия, 2014. - 372 с.
19. Ворошилов Г.А. Обоснование оптимальных уклонов автодорог при разработке нагорноглубинных карьеров, Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 2008. – 155 С.
20. Ганицкий В.И., Организация производства на карьерах. – М.: Недра, 1983, с. 232.
21. Говорущенко Н. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. – Москва: Транспорт, 1990 – 620 с.

22. Деметрович, Я. Автоматизированные методы спецификации / Я. Деметрович, Е. Кнут, П. Радю. – М.: Мир, 2014. – 120 с.
23. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.
24. Евтюков С.Ф. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. С. 213–218. DOI: 10.17513/spno.2012.3
25. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 359 с.
26. Заикин А.Н. Автоматизация расчёта режимов работы комплексов машин / А.П. Заикин, Е.А. Памфилов, Е.Г. Изюмова // Вестник Брянского технического университета, 2009. – №1. – С. 69-74.
27. Зарипова С.Н. Обеспечение безопасного функционирования экскаваторноавтомобильных комплексов угледобывающих предприятий: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 2008. – 268 с.
28. Захаров В.Н., Кубрин С.С., Забурдяев В.С. Комплексование технологических стадий и операций в единый технологический процесс на основе информационных технологий Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 6. – С. 199-205.
29. Зырянов И.В. Повышение эффективности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации. Диссертация на соис. уч. степени д.т.н. // 2006. – 378 С.
30. Использование пакета Statistica 5.0 для статистической обработки опытных данных: Методические указания для дипломного проектирования для студентов лесного факультета специальностей 260400 "лесное хозяйство" и 260500 "садово-парковое и ландшафтное строительство" // Сост.: С.В. Кабанов. Саратов. гос. агр. ун-т. Саратов, 2000. 23 с.

31. Казеев И.М., Казеев А.И. В сборнике: Информационные технологии в науке, образовании и производстве. материалы международной научно-практической конференции. Под ред. Ю.С. Руденко, Р.М. Кубовой, В.В. Шамраевой. 2018. – С. 381-395.
32. Камынин Ю.Н., Зильберман Я.С. Автоматизация карьерного транспорта. – М.: Недра, 1991 – 224 с.
33. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб: Недра, 2002. – 424 с.
34. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). – СПб: Недра, 2004. - 424 с.
35. Карагодин, В.И. Ремонт автомобиле и двигателей: Учебное пособие. – М: Академия, 2009. – 496 с.
36. Квагинидзе В.С., Козовой Г.И., Чакветадзе Ф.А., Антонов Ю.А., Корецкий В.Б. Автомобильный транспорт на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие. — М.: «Горная книга», 2012. – 408 с.
37. Клебанов Д.А. Разработка технико-технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах. – М.: ИПКОН РАН, 2015. – 135 с.
38. Ключев, А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский. – М.: Энергия, 2015. – 512 с.
39. Кобылкин С.С., Кобылкин А.С., Баловцев С.В., Харисов А.Р. Научно-обоснованные решения по разработке инструкции по составлению плана ликвидации аварий для угольных разрезов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 84-98. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98.
40. Колосов О.С. Институт автоматики и вычислительной техники / В.П.Лунин, О.С.Колосов. – Москва: 2016. – 1471 с.

41. Кондрашев А.П., Шестопалов Е.В. Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений. – М.: Атомиздат, 1977. 200 с.
42. Кубрин С.С. Автоматизированная система управления горным производством как платформа комплексирования технологических стадий и операций в единый технологический процесс Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 11. – С. 96-107.
43. Кубрин С.С., Решетняк С.Н. Автоматизированная информационно-измерительная система технического учета электроэнергии для подземных горных работ Горный журнал. – 2016. – № 1. – С. 87-90.
44. Кубрин С.С., Ясученя С.В., Зотов В.В., Решетняк С.Н. Мониторинг горного оборудования на основе анализа баланса энергопотребления в коммутационной аппаратуре электросети горного предприятия В сборнике: Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. В сборнике опубликованы тезисы докладов Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук. – 2014. – С. 233-237.
45. Кужелев А.И. Повышение Технического Уровня Карьерных Автосамосвалов: сб. ст. XI международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 83–85.
46. Кузнецов Б.А., Ренгевич А.А., Шорин В.Г. и др. Транспорт на горных предприятиях. – М., Недра, 1976. – 552 с.
47. Куприянов В.В., Фомичева О.Е. Интеллектуализация технологий автоматизированных систем. – М.: МГГУ, 1994. - 101 с.
48. Куракова Л. Геология Юго-Восточной Азии. Индокитай, – Л., 1969. – С. 158–159.
49. Куракова Л. Индокитай, Бирма. Природные районы и ландшафты, – М.: 1967. – С. 89–91.

50. Лисенков А.А., Куандыков А.А., Букейханова С., Лысенко С.Б. Интеллектуализация систем проектирования, управления и функционирования горного производства // Горная промышленность. – 2017. – № 6 (136). – С. 88.
51. Лисицын П. Оползень накрыл нефритовые шахты в Мьянме, пять человек погибли <https://ria.ru/world/20151226/1349302699.html> (дата обращения 31.05.2017)
52. Лобанов Н.Я., Грачев Ф.Г., Лихтерман С.С. Организация планирования и управления производством в горной промышленности: учебник для вузов. – М.: Недра, 1989. – 516 с.
53. Лобах В.П. Нормирование расхода топлива на автомобильном транспорте // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2009. – № 4 (25). – С. 15-21.
54. Лукичев С.В. Цифровая трансформация горнодобывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S37. – С. 7-20.
55. Мельников Н.В., Трубецкой К.Н. Одноковшовые погрузчики на открытых горных разработках. – М.: Недра, 1971. – 154 с.
56. Мельцер, М. И. Разработка алгоритмов АСУП. – М.: Статистика, 2014. – 240 с.
57. Назаренко М.В., Хоменко С.А. Комплексная автоматизация горных предприятий // В сборнике: Цветные металлы и минералы - 2018. Сборник докладов Десятого международного конгресса. В рамках конгресса - три отраслевые конференции. – 2018. – С. 1219-1223.
58. Новожилов М.Г., Селянин В.Г., Трен А.Е. Глубокие карьеры. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 318 с.
59. Нурлыбаев М. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на карьерах. Учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1985. – 197 с.

60. Певзнер Л.Д. Теория автоматического управления. Задачи и решения: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2016. – 604 с.
61. Певзнер Л.Д. Теория систем управления Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2013. – 424 с.
62. Перепелицын А.И., Китляйн Е.Е., Клебанов Д.А. Комплексная система управления промышленной безопасностью и оценки рисков на горнодобывающих предприятиях // Горный журнал. – № 7. – 2012. – С. 55–59.
63. Потапов В.П. Математическое и информационное моделирование геосистем угольных предприятий. – Кемерово: ИУУ СО РАН. 1999. – 211 с.
64. Потапов М.Г. Карьерный транспорт. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 269 с.
65. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. – М.: дом Вильямс, 2006. – 1408 с.
66. Ребрин Е.Ю. Моделирование режимов работы карьерного автотранспорта. Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 1995. – 220 С.
67. Решетняк С.П. Обоснование и разработка схем циклично-поточной технологии с внутрикарьерными передвижными дробильно-перегрузочными комплексами. Диссертация на соис. уч. степени д.т.н. // 1998. – 422 С.
68. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Производственные процессы: учебник для вузов. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
69. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
70. Рыбак Л.В. Совершенствование организации работы карьерного автотранспорта на основе компьютерных технологий. Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 2005. – 124 С.
71. Самосвалы scania - строительные / карьерные: [сайт].URL: <https://scanauto.ru/catalog-motor-vehicle-scania/trucks-scania/tipper-scania/> (дата обращения 22.11.2019)

72. Синягов, А. А. Формирование автоматизированных комплексов. Социально-экономические проблемы / А.А. Синягов. – М.: Экономика, 2016. – 232 с.
73. Сис Муе Анализ состояния горнодобывающей промышленности Республики Союз Мьянма и оценка путей повышения уровня автоматизации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 10. – С. 213–218. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-213-218
74. Системы разработки и транспорт на карьерах. Под редакцией Н.В.Мельникова. – М., Недра, 1974. – 186 с.
75. Смирнов А.М. Основы геоэкологического мониторинга угольных шахт. – М.: МГГУ, 2003. – 268 с.: ил. ISBN 5-7418-0308-3
76. Солод В. И. Горные машины и автоматизированные комплексы. – М.: Недра, 1981. – 503 с.
77. Стариков А.И. Геоинформационное моделирование и автоматизированные расчеты горно-транспортных процессов в карьерах. Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 2000. – 125 С.
78. Стенин Д.В., Стенина Н.А. Влияние параметров горнотранспортного оборудования на эффективность использования карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – № 2. – С. 10–14.
79. Темкин И.О. Интеллектуальные системы управления горнотранспортными комплексами: современное состояние, задачи и механизмы решения / И.О.Темкин, Д.А. Клебанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Труды международного симпозиума "Неделя Горняка" – 2014 – Отдельный выпуск №1. – С. 257-266.
80. Терехин Е.Ю. Исследование энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров. Диссертация на соис. уч. степени к.т.н. // 2001. – 204 С.
81. Технические характеристики грузовых автомобилей SCANIA для горнодобывающей промышленности: [сайт]. URL:

22.11.2019)

82. Томаков П.И., Наумов И.К. Технология, механизация и организация открытых горных работ. — М.: Недра, 1986. — 312 с.
83. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Основы горного дела: учебник. — М.: Академический проект, 2010. — 264 с.
84. Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Современные системы управления горно-транспортными комплексами. / под редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого. — СПб.: Наука, 2007. — 306 с.: ил. ISBN 978-5-02-025a185-4
85. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я. От системы "карьер" к новому интеллектуальному укладу открытых горных работ // Проблемы недропользования. — 2019. — № 3 (22). — С. 39-48.
86. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Макеев М.А. Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техникой // Горная промышленность. — 2017. — № 5 (135). — С. 27.
87. Тугов В.В., Шаров Н.С., Сергеев А.И. Проектирование автоматизированных систем управления. Учебное пособие. — М.: Лань, 2019, 172 с.
88. Федотенко В.С. Обоснование параметров и разработка технологии эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими вскрышными уступами. // Диссертация на соис. уч. степени д.т.н. — 2018. — 300 С.
89. Фельдбаум А.А. Вычислительные устройства в автоматических системах. — М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 2017. — 800 с.
90. Хакулов В.А., Шаповалов В.А., Игнатов В.А., Игнатов М.В., Карпова Ж.В. Совершенствование информационных технологий управления

- процессами горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № S31. – С. 44-56.
91. Хакулов В.А., Шаповалов В.А., Игнатов В.Н., Игнатов М.В. Совершенствование управлением горными комплексами при работе экскаваторов с автосамосвалами в открытом цикле // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).). – 2020. – № S31. – С. 57-72.
 92. Циперфин И.М., Штейн В.Д. Карьерный автомобильный транспорт: Справочник. – М.: Недра, 1992. – 415 с.: ил. ISBN 5-247-01665-3
 93. Чистоева Ю.Е. Перспективы применения карьерных автосамосвалов малой грузоподъемности // В сборнике: Россия молодая. Сборник лучших статей VIII Всероссийской, 61 научно-практической конференции молодых ученых. Кемерово. – 2016. – 120 с.
 94. Шевкун Е.Б., Казаков Е.А. Роботизированные системы автомобильного транспорта на открытых горных работах, Ученые заметки ТОГУ. – 2017. Т. 8. – № 4. – С. 460-472.
 95. Шевяков Л.Д. Разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Углетехиздат, 1953. – 756 с.
 96. Шешко Е.Е. Горно-транспортные машины и оборудование для открытых работ. 4-е издание — М.: МГГУ, 2006. – 264 с.
 97. Шешко Е.Ф. Основы проектирования угольных карьеров. – М.: Углетехиздат, 1950. – 224 с.
 98. Яруллина Р.С. Открытые горные работы: Справочник. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.: ил ISBN: 5-900697-01-0
 99. Shrivastava A., Goswami S., Rao L. M. Monitoring the utilization of dump truck in coal mines using internet of thing (IoT) // 2019 Global conference for advancement in technology (GCAT), Bangaluru, India, 2019. – pp. 1–4.
 100. Booch G., Jacobson I., Raumbaugh J. The Unified Modeling Language User Guide. – MA: Addison-Wesley, 1999. – 500 p.

101. Booch G.: Object-Oriented Analysis and Design with Applications. – MA: Addison-Wesley, 1998. – 221 p.
102. Cramer H. Mathematical methods of statistics. – Princeton: Princeton University Press, 1999. – 575 p.
103. Dogan, E., Steg, L., Delhomme, P. The influence of multiple goals on driving behavior: The case of safety, time saving, and fuel saving. Accident Analysis & Prevention, Volume 43, 2005. – pp. 35-43
104. Du Plessis, H. W., Visser, A. T., & Curtayne, P. C. (1990). Fuel consumption of vehicles as affected by road-surface characteristics. Surface characteristics of roadways: International research and technologies, ASTM STP, Volume 1301. – pp. 480-496.
105. Gangadhar. Advanced opencast mining methods, Planet Publishing House; First edition, 2016. – 280 p.
106. H. Miao, Z. Jinsheng and N. Dexin, GA-based resource transportation scheduling optimization of open-pit mine //2017 International conference on smart grid and electrical automation (ICSGEA), Changsha, 2017. – pp. 247–250.
107. Hahn G.J., Shapiro S.S. Statistical models in engineering. – New York: Wiley, 1967. – 367 p.
108. Hellstrom, E., Ivarsson, M., Åslund, J., & Nielsen, L. (2009). Lookahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption. Control Engineering Practice, Volume 17 (Issue 2). – pp. 245-254.
109. Hellstrom, E., Åslund, J., & Nielsen, L. (2010). Design of an efficient algorithm for fuel-optimal look-ahead control. Control Engineering Practice, Volume 18 (Issue 11). – pp. 1318-1327.
110. Hellström, E., Ivarsson, M., Åslund, J., & Nielsen, L. Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption. Control Engineering Practice, Volume 17, 2012. – pp. 245-254

111. Ioannou, P. A., & Chien, C. C. (1993). Autonomous intelligent cruise control. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, Volume 42 (No 4). – pp. 657-672.
112. John R. Sturgul., Mine Design: Examples Using Simulation. SME, 2000. – 380 p.
113. L.Narsima Rao. Mine machinery-II for mining, Planet publishing house; First edition, 2016. – 280 p.
114. Lee T., Adams G. E. & Gaines W. M. Computer process control. Modeling and Optimization. New York: Wiley, 1968 – 570 p.
115. Mahaffey R.R. LIMS: applied information technology for the laboratory. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. – 260 p.
116. Massive increase in Myanmar tin exports / International Mining // <http://im-mining.com/2016/03/02/massive-increase-in-myanmar-tin-exports/> (дата обращения 04.03.2018)
117. Mining In Myanmar / Crossroads Quarterly Business Magazine// <http://www.crossroadsmyanmar.com/focus/mining-myanmar> (дата обращения 04.03.2018)
118. Monastyrsky, V. V., & Golownykh, I. M. (1993). Rapid computation of optimal control for vehicles. Transportation Research Part B: Methodological, Volume 27 (Issue 3). – pp. 219-227.
119. Paluzawa coal mine project in Myanmar http://www.tunthwinmining.com/operations_projects.htm (дата обращения 04.03.2018)
120. Springer Handbook of Automation, Publisher: Springer, ISBN: 978-3-540-78830-0, DOI 10.1007/978-3-540-78831-7, 2009. – pp. 154-168.
121. Stafford J.E.H. LIMS: An automating or informing technology? // Advanced LIMS Technology. Case Studies and Business Opportunities. Surrey: Springer Science+Business Media Dordrecht, 1995. Ch. 1. – pp. 1–13.

122. Supplementary ESIA for STC Cement Plant & Associated Facilities in Myanmar, Shwe Taung Cement Ltd, Supplementary Environmental and Social Impact Assessment Report, 2017. – 539 p.
123. Tu J.N., Hueka V.S. Analysis of open truck haulage system by use of a computer model // CiM Bulletin. – 1985. – № 7. – pp. 53–59.
124. Zadeh L.A. Fuzzy sets. // Information and Control. 1965. Vol. 8. – pp. 338-353.

ПРИЛОЖЕНИЕ**П. 1. Документы об актуальности и внедрения**

Закрытое акционерное общество
"МАНСУРОВСКОЕ КАРЬЕРОУПРАВЛЕНИЕ"
(ЗАО «МКУ»)

143 573 Московская обл., Истринский р-он, д. Алексеевка,
Производственная база ЗАО «Мансуровское карьероуправление, д. 3
тел./факс (495) 994-51-54, 994-53-31 E-mail: mansurovo@yandex.ru
ОКПО 05071329, ОГРН 1025001813870, ИНН/КПП 5017014434/501701001

«31» марта 2021 г.

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационной работы Сис Мые на тему «Системы управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности» были использованы при расчете производственной программы работы парка автомосвалов на ЗАО «Мансуровское карьероуправление».



Технический директор


Виноградов О. М.